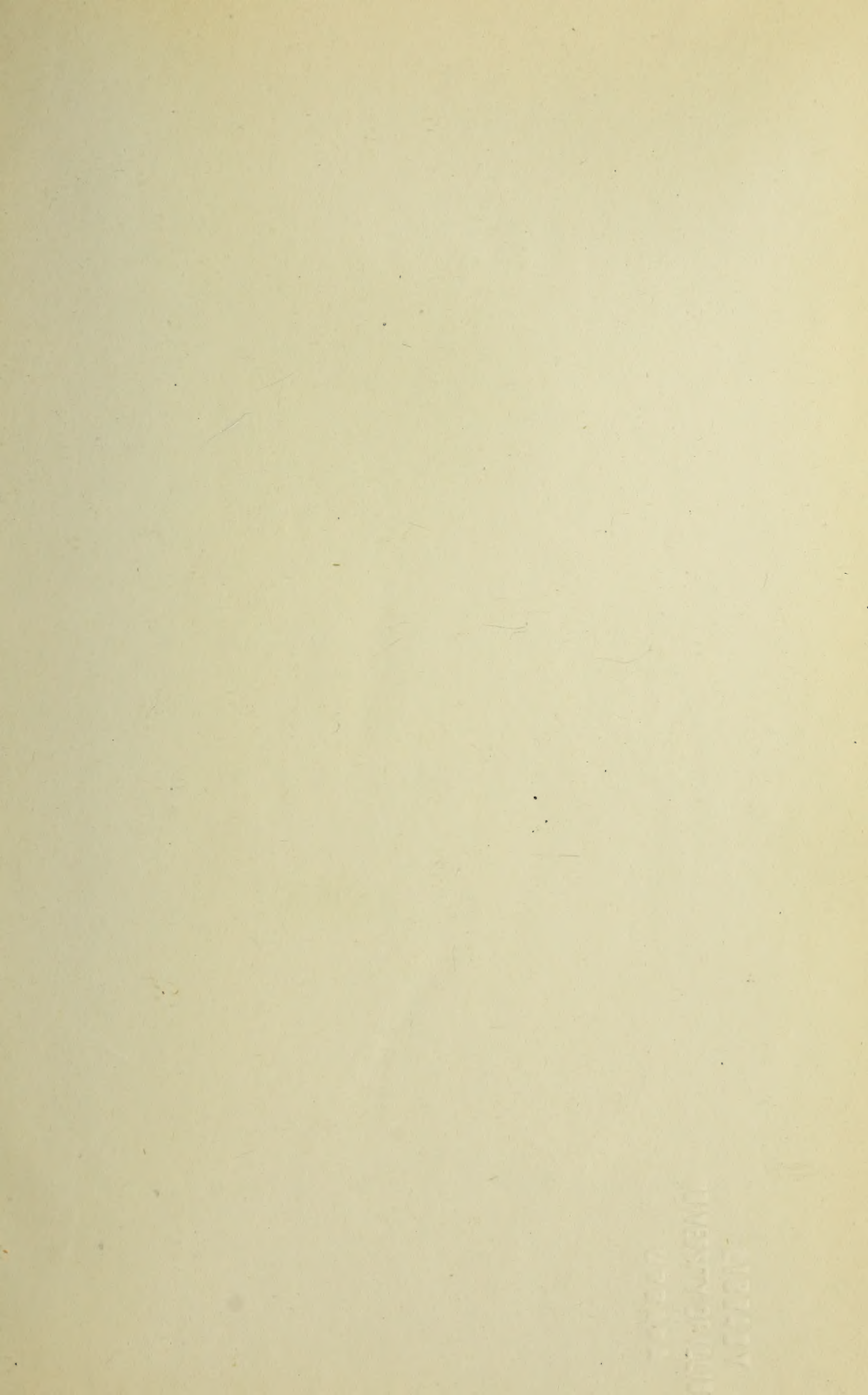
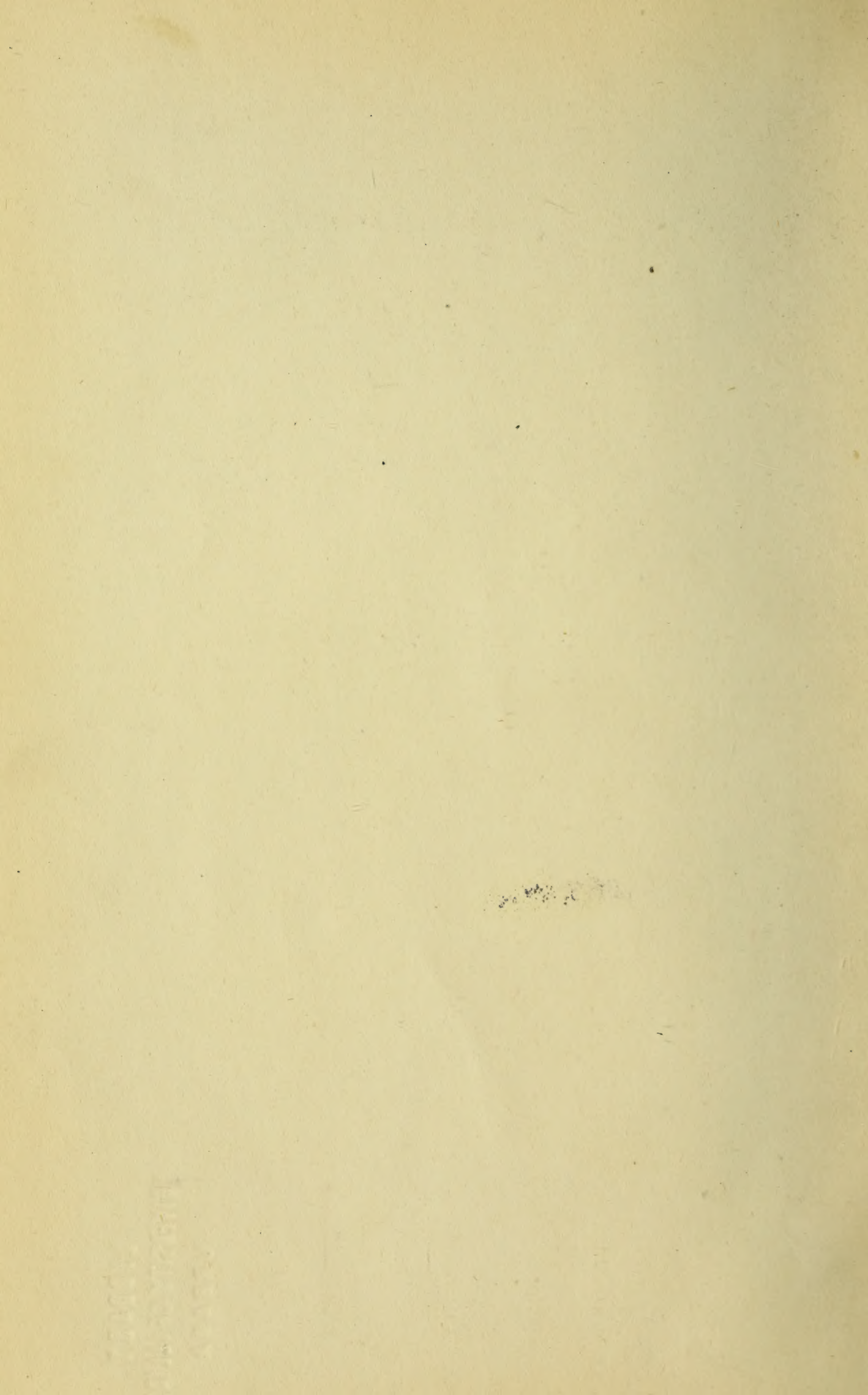










SKANDINAVISCHES
ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. E. A. HOMÉN IN HELSINGFORS, PROF. DR. V. HENRIQUES UND PROF. DR. AUG. KROGH IN KOPENHAGEN, PROF. DR. T. THUNBERG IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON, PROF. DR. S. JOLIN, PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. GUSTAF GÖTHLIN, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPSALA

HERAUSGEGEBEN

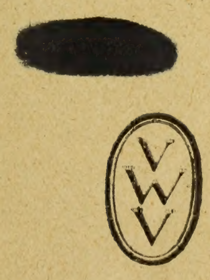
VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

ACHTUNDDREISSIGSTER BAND.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT.



BERLIN UND LEIPZIG 1919

VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER

WALTER DE GRUYTER & CO.

VORMALS G. J. GÖSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG :: J. GUTTENTAG, VERLAGSBUCHHANDLUNG :: GEORG REIMER :: KARL J. TRÜBNER :: VEIT & COMP.

Inhalt.



Über die spontanen Kontraktionen der Arterien.[1]

Von

G. I. Stepanow.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

Die Frage nach den spontanen Kontraktionen der Arterien wurde in den letzten Jahren sehr oft debattiert. Die neuen Methoden der Gefässstudien an ausgeschnittenen Arterien, besonders die v. Frey-Meyer'sche Streifenmethode, haben das meiste dazu beigetragen. Inzwischen wurden die alten, einfacheren und in vielen Hinsichten viel mehr zuverlässigen Methoden fast gänzlich vernachlässigt. Ich meine die Beobachtung der spontanen Kontraktionen der Arterien im Körper, hauptsächlich der Ohrarterie des Kaninchens und der Schwimmhautarterien des Frosches.

Die Entdeckung der spontanen Kontraktionen der Arterien wird gewöhnlich Schiff (1854) zugeschrieben. Dies ist nicht ganz richtig. Schon 1851 hat sie Wharton Jones[2] an den Schwimmhautarterien des Frosches beobachtet. Man muss aber zugeben, dass erst die Beobachtung Schiffs (Ohrarterie des Kaninchens) die Aufmerksamkeit der gelehrten Welt auf diese Frage lenkte; Schiff hat auch zugleich — als Erster — die Rolle der spontanen Kontraktionen als akzessorische Herzen hervorgehoben. Die Arbeit von Jones blieb hingegen fast gänzlich unbekannt, so das Gunning, zum Beispiel, die spontanen Kontraktionen der Schwimmhautarterien 7 Jahre später (1858) »wiederentdeckte». Später wurden die spon-

---

[1] Der Redaktion am 7. März 1917 zugegangen.

[2] Wharton Jones, Guy's hospital reports 1851, p. 7, 17, 18.

tanen Kontraktionen der Schwimmhautarterien durch Saviotti, Riegel, Huizinga u. a. untersucht[1].

Die spontanen Kontraktionen der Arterien der Schwimmhaut werden bei den oben genannten Autoren sehr verschiedenartig beschrieben. Einige beschreiben rhytmische (Huizinga), andere gänzlich unregelmässige Kontraktionen (W. Jones), ja sogar ihre Existenz wird bezweifelt (Humilewsky)[2]. Auch in dieser Hinsicht erschien es mir wünschenswert eine neue Untersuchung der spontanen Kontraktionen der Schwimmhautarterien des Frosches zu unternehmen.

In meinen Versuchen wurden die Frösche (15—35 g schwer) mässig mit Kurare vergiftet und zwar so, dass sie nach 30—50 Minuten unbeweglich und höchstens nach 2—3 Tagen wieder normal wurden. (Bei starker Kurarevergiftung verschwinden sowohl die Gefässreflexe als auch die spontanen Kontraktionen). Um die Schwimmhaut — zwischen der III. und IV. Zehe — unbeweglich und in einer Fläche gedehnt zu erhalten, breitete ich sie auf einem Glassdreiecke aus (nach Huizinga). Von Zeit zu Zeit musste die Schwimmhaut befeuchtet werden, denn sonst trocknete sie sehr bald aus. Einfache Bepinslung mit Wasser, wie es andere Autoren gemacht haben, hielt ich für unbequem. Es ist klar, dass diese Manipulation nicht ohne Einfluss auf die Vorgänge in der Schwimmhaut sein kann (durch zufällige Berührung, Stoss eines fallenden Tropfens etc.), ausserdem wird dadurch die Beobachtung unterbrochen. Deswegen baute ich mir eine Kuvette, indem ich die Glasplatte, auf welche der Frosch gelegt wurde, mit einem etwa 0.5 cm hohen Rande aus Wachs (noch besser aus Mendeleff'schem Kitt) umgab. Ferner trocknete ich die Hinterfüsse des Frosches ab, breitete die Schwimmhaut über einem Glassdreiecke aus und befestigte die III. und IV. Zehe mittels schmaler Wachsstreifen, deren Enden an die Glassplatte gelötet wurden. Diese Wachsstreifen verhinderten das Verschieben und Aufschwimmen der Schwimmhaut. Zur Beobachtung benutzte ich ein Mikroskop von Leitz mit Obj. 3 Okul 3 (4) mit Okularmikrometer. Die Weite des Gefässlumens wurde direkt am Okularmikrometer abgelesen. Ununterbrochene Beobachtung mit

---

[1] Litteraturangaben findet man bei Vulpian, Leçons sur l'appareil vaso-moteur 1, S. 73; 1875 und R. Tigerstedt, Physiologie des Kreislaufs S. 538; 1893.

[2] Humilevsky, Archiv für Anat. und Physiol., physiol. Abt., 1886, S. 125.

einem Auge konnte ich höchstens 20—30′ lang aushalten (längere Zeit kenne ich aus der Litteratur nicht). Es war aber höchst interessant die Beobachtungszeit möglichst zu verlängern. Zu diesem Zwecke verfuhr ich folgendermassen: Die Messung des Gefässlumens wurde alle 10″, also 6 Mal pro Minute vorgenommen. Mein Auge wurde bei diesem Verfahren gar nicht müde — ich besitzte 4—6 Stunden lange Beobachtungsreihen, bei denen die Veränderungen des Gefässlumens doch ganz genau notiert sind. Zur Kontrolle unternahm ich zuweilen meine Messungen öfter oder sogar kontinuirlich — aber nur während kurzer Zeit — die Ergebnisse waren immer dieselben [1].

An der Schwimmhaut eines mässig kurarisierten Sommerfrosches (ich arbeitete im Sommer) kann man dreierlei Erscheinungen beobachten: 1) langsame Tonusschwankungen, denen alle Arterien der Schwimmhaut unterliegen; 2) spontane Kontraktionen; und 3) Gefässreflexe.

Befor ich zur Beschreibung der spontanen Kontraktionen übergebe, möchte ich kurz über die Gefässreflexe berichten. Diese können mit den verschiedensten Reizmitteln erzielt werden. Mechanische (leichtes Streichen, Kneifen), thermische (rascher Temperaturwechsel), akustische (starkes »unerwartetes» Geräusch, Glockenschall etc.), optische (rasche Beleuchtungsänderung — diesen Reflex habe ich aber nicht immer gesehen), elektrische und chemische Reize erzeugen eine primäre Gefässkontraktion. Meistenteils ist die Latenzdauer nicht länger als 1—2″, zuweilen aber (namentlich bei stärkerer Kurarevergiftung) bis 30—40″ ja sogar bis zu 1′. Die Kontraktion des Gefässes erfolgt schneller als die nachfolgende Wiederkehr zu normalem Lumen oder auch zu der manchmal eintretenden sekundären Dilatation. Das Gefäss kann sich auf $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$ des ursprünglichen Lumens und bei starken Reizen bis zu vollständigem Lumenverschluss kontrahieren. Nicht selten folgt auf die erste Kontraktion eine zweite, seltener eine dritte.

Einigemal habe ich an einem vor der Reizung ruhigen Gefässe nach der Reizung spontane Kontraktionen auftreten sehen, die nach etwa 20—30′ wieder verschwanden. Falls dieselben schon vor der Reizung bestanden, so wurden sie zuweilen nach der Reizung viel

[1] Die Resultate der Lumensausmessungen wurden auf karriertem Papier graphisch dargestellt, wobei 3 Teilungen längs der Abscisse einer Minute und 1 Teilung längs der Ordinate einer Teilung des Okularmikrometers entsprachen.

regelmässiger und ausgeprägter, als bevor. (Ähnliches hat schon Saviotti beobachtet). In einigen Versuchen waren sie nach der Reizung verstärkt, seltener abgeschwächt.

Fig. 1.

Bei der Untersuchung der Reflexe habe ich niemals eine primäre Gefässerweiterung beobachtet. Interessant ist es noch zu bemerken, dass beim Frosche der sogen. Hauchreflex vollständig fehlt. Man beobachtet bei ihm weder eine Gefässverengerung, noch irgend welche Änderung der Herztätigkeit. Beim Kaninchen erzeugt aber ein Hauch auf die Haut eine starke Blutdruckerhöhung. Vielleicht steht dieser Reflex im Zusammenhange mit der Bewegung der Haare (durch den Hauch), welche beim Frosche fehlen.

Zur Untersuchung der peripheren Reizwirkung bediente ich mich fast ausschliesslich der mechanischen Reizung. Bei starker Reizung sah ich immer eine Gefässkontraktion, bei schwacher zuweilen eine Gefässerweiterung.

Nach Durchschneidung des Plexus ischiadicus (die Operation ist bei Huizinga beschrieben) verschwinden die zentralen Reflexe, die peripheren Reizwirkungen bleiben aber unverändert.

Oben habe ich schon erwähnt, dass die spontanen Kontraktionen sehr verschieden beschrieben worden sind, und sie sind tatsächlich ausserordentlich verschiedenartig. Nicht selten fehlen sie gänzlich, oft sind sie unregelmässig, zuweilen auffallend regelmässig (Fig. 1). Während des Versuchs können sie verschwinden, oder auftreten, oder ihren Charakter wechseln. Sind die Kontraktionen gut ausgeprägt, so dauert der kontrahierte Zustand kürzer als der expandierte, die »Systole» geschieht schneller als die Diastole. Gerade umgekehrt verhalten sich die Arterien-

kontraktionen des Kaninchenohres, wo die Systole langsamer geschieht und länger dauert als die Diastole.

Selten habe ich solche Kontraktionen öfter als nach 30″ einander folgen gesehen. Meistenteils sind die Zwischenperioden bedeutend länger und können 2, 3, 5 und mehr Minuten betragen. Sind die spontanen Kontraktionen sehr unregelmässig, so kann man schwerlich ihren Gang erkennen — das Gefäss zittert ganz »unförmlich».

Einer spontanen Kontraktion kann entweder eine beschränkte Stelle des Gefässes oder das ganze Gefäss unterliegen. Einigemal habe ich ganz sicher peristaltischen und antiperistaltischen Gang der Kontraktionen beobachtet.

Die Kontraktionen verschiedener Arterien einer und derselben Schwimmhaut können sehr verschieden sein, seltener sind sie synchronisch.

Mehrmals konnte ich die Beobachtung Huizinga's bestätigen, dass namentlich die Arterien in der Mitte der Schwimmhaut öfter und besser ausgeprägte spontane Kontraktionen aufweisen, als die am Rande der Schwimmhaut. Ebenfalls kann ich eine andere Beobachtung Huizinga's bestätigen, dass die spontanen Kontraktionen besonders gut bei anämischen Tieren ausgeprägt sind. Mit demselben Erfolg habe ich auch künstliche Anämie erzeugt. Die Beobachtung Gunning's, dass die spontanen Kontraktionen bei den jungen Fröschen ausgeprägter als bei den alten sind, fand ich auch als zutreffend. Ich muss noch hinzufügen, dass man gut ausgeprägte Kontraktionen auch bei sehr starken, beweglichen, frisch eingefangenen Fröschen beobachtet; — weniger frequente oder schwächere Kontraktionen findet man hingegen bei trägen, lange im Laboratorium aufbewahrten, aber noch keine Anämie aufweisenden Fröschen.

Eine starke Wirkung auf die spontanen Kontraktionen hat die Temperatur. Zur Beobachtung der Wirkung derselben habe ich folgende Vorrichtung benutzt. Ich durchstach an zwei fern voneinander liegenden Stellen den Wachsrand meiner Kuvette und führte in die Löcher zwei dünne Glasröhrchen hinein, von denen das eine als Zufluss- das andere als Abflussrohr diente. Jenes verband ich, mittels eines Gummischlauches (mit Klemme versehen) mit einem Behälter, aus dem ich Wasser von der gewünschten Temperatur schöpfen konnte. Bei geöffneter Klemme floss das Wasser in die Kuvette — aus der Kuvette — durch das Abflussrohr in ein untergeschobenes Gefäss. Nun war aber auch bei der grössten Sorgfalt wäh-

rend des Wasserswechsels eine gewisse Wellenbildung nicht zu verhindern, was aber bei der Beobachtung sehr störend war. Diese Schwierigkeit umging ich sehr einfach: den Teil des Wachsrandes der Glassplatte, wo die Hinterpfoten des Frosches plaziert wurden, machte ich niedriger als die übrigen und bedeckte ihn mit einer dünnen (nur die Pfoten bedeckenden) Glasplatte. Die Entfernung zwischen der unteren und oberen Glasplatte wurde so gewählt, dass die Hinterpfoten durch die obere Glasplatte nicht berührt wurden und dabei das Objectiv des Mikroscops den nötigen Bewegungsraum über dem Objecte (den Hinterpfoten) hatte. An der vorderen Kante der oberen Glasplatte machte ich einen Wachsrand, der die Höhe des Randes des hinteren Teiles der Kuvette bis zur Höhe der des vorderen ergänzte. Die obere Glasplatte wurde an die Wachsränder zugelötet. Die obere Öffnung des Abflussrohres war höher eingestellt als die obere Glasplatte.

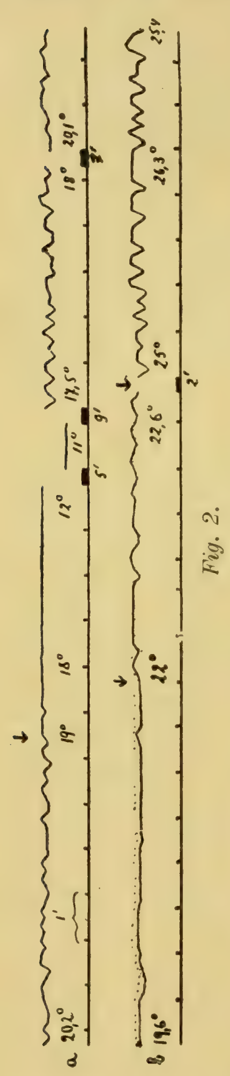


Fig. 2.

Bei 18—20° waren die spontanen Kontraktionen fast immer zu sehen; liess ich nun die Temperatur bis auf 14—7° fallen, so verschwanden sie und der Tonus nahm zu. Das Verschwinden der spontanen Kontraktionen kann auf zwei Arten vor sich gehen: entweder werden die Kontraktionen bei zunehmendem Gefässtonus immer kleiner und kleiner, bis sie endlich nicht mehr zu sehen sind, oder beobachtet man zuerst einen einige Minuten langen »diastolischen Stillstand» (besonders demonstrativ ist diese Erscheinung bei frequenten und gut ausgeprägten Kontraktionen, Fig. 2), dann aber eine allmähliche Tonuszunahme. Ähnliches hat einmal van der Becke Callenfels beim Begiessen der Ohren eines Kaninchens mit kaltem Wasser an der Ohrarterie beobachtet.

Ich habe schon erwähnt, dass Humilewsky die spontanen Kontraktionen der Schwimmhautarterien »trotz eifrigen Suchens» nie beobachten konnte: nach dem oben Erörteten erscheint es

mir nicht unwahrscheinlich dass sein Misserfolg vielleicht gerade der in dieser Hinsicht ungünstigen Temperaturwirkung zu verdanken war. Bei niedriger Temperatur habe auch ich keine spontanen Kontraktionen gesehen. Ich brauchte aber nur die Temperatur zu erhöhen, und sogleich traten sie auf (Fig. 2). Sie sind klein, oberflächlich und frequent. Ihre Frequenz reicht zuweilen bis auf 4—5 pro Minute. Falls die spontanen Kontraktionen schon vor der Temperaturerhöhung vorhanden waren, verwandelten sie sich in den soeben beschriebenen Typus. Die stärkste Wärmewirkung war bei 25—29° zu sehen.

Eins möchte ich noch hervorheben. Hat man die spontanen Kontraktionen durch Temperaturerniedrigung unterdrückt und lässt man die Temperatur noch etwas niedriger fallen, so treten bei der nachfolgenden Temperaturerhöhung die spontanen Kontraktionen schon bei einer niedrigeren Temperatur auf, als derjenigen, bei welcher sie zuerst verschwanden; oft sind sie dabei viel stärker als die ursprünglichen Kontraktionen.

Die grosse Bedeutung der Temperatur für das Auftreten der spontanen Kontraktionen hat schon van der Becke Callenfels hervorgehoben. Er hat nämlich die Beobachtung gemacht, dass die Ohrarterien des Kaninchens in der Kälte keine spontanen Kontraktionen zeigen, wohl aber in der Wärme[1]. Ähnliches hat Bayliss[2] plethysmographisch am isolierten Hinterfusse eines Hundes konstatiert. In der letztes Zeit sahen Full[3] und Günther[4] an ausgeschnittenen Gefässstreifen (Pferd, Ochs) Frequenzzunahme der spontanen Kontraktionen bei Temperaturerhöhung. Vor kurzem hat endlich N. P. Krakow[5] eine ähnliche Beobachtung am isolierten Kaninchenohr gemacht.

Bei der Mehrzahl der Autoren findet man Angaben, dass nach Durchschneidung der zugehörigen Gefässnerven (Plexus ischiadicus)

---

[1] Mosso behauptet, dass die spontanen Kontraktionen der Ohrarterien des Kaninchens nur bei Gemütsstörungen eintreten. In »Gemütsruhe« befanden sich bei ihm die Kaninchen in einem Käfig, der einen Fensterraum völlig ausfüllte; in der dem Inneren des Zimmers zugekehrten Wand war ein Loch gebohrt, durch welches man die Tiere — von ihnen unbemerkt — beobachten konnte... War es aber da im Fensterraum genug warm für das Auftreten der spontanen Kontraktionen?

[2] Bayliss, The action of carbon dioxide. Proc. of the Physiol. Soc. 1901, S. XXXIII.

[3] Full, Zeitschrift für Biologie, 61, S. 287; 1913.

[4] Günther, ibid, 65, S. 401; 1915.

[5] Kravkov, Русскій Врачъ, 1916, № 24.

die spontanen Kontraktionen nicht verschwinden. Dass die Gefässnerven der Pfote in der Bahn des Plex. ischiad. verlaufen wird dadurch bewiesen, dass nach dieser Durchschneidung alle Reflexe ausbleiben (Huizinga). Diese Angaben kann ich bestätigen. Einige Minuten nach der Durchschneidung sind die Gefässe der Schwimmhaut ein wenig erweitert (zuweilen habe ich keine Gefässerweiterung gesehen) und weisen keine spontanen Kontraktionen auf. Nach 24—48 Stunden aber, während die Gefässinjektion etwas abgenommen hat, sind die spontanen Kontraktionen schon wieder in vollem Gange. Irgend welchen Unterschied von den spontanen Kontraktionen einer normalen Schwimmhaut konnte ich nicht bemerken [1]. Mit der Zeit verengern sich die Gefässe der entnervten Schwimmhaut immer mehr und mehr, so dass sie 3—4 Wochen nach der Durchschneidung deutlich enger sind als die Gefässe der normalen Schwimmhaut. Der ganze Fuss zeigt zu dieser Zeit deutliche Atrophie (in den Gelenken schwer beweglich, kleiner, magerer als der normale Fuss etc.). Dabei sieht man aber eine höchst interessante Erscheinung: Die spontanen Kontraktionen der Arterien an der entnervten Schwimmhaut sind wesentlich intensiver als die der normalen (Fig. 3). Zuweilen sieht man an der normalen Schwimmhaut seltene oder sogar keine Kontraktionen, während sie an der entnervten Schwimmhaut bestens ausgeprägt sind. Das Gegenteil habe ich nicht beobachtet.

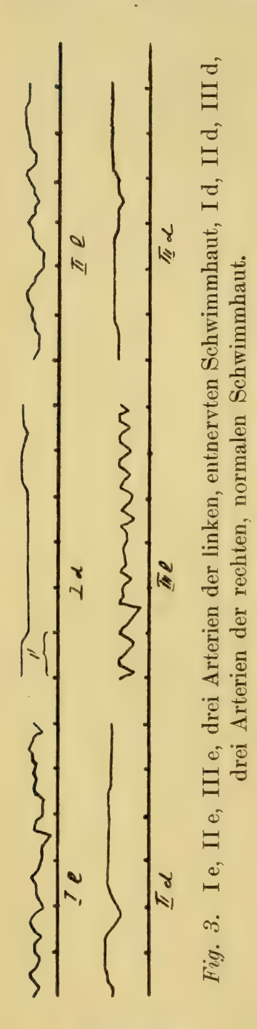


Fig. 3. I e, II e, III e, drei Arterien der linken, entnervten Schwimmhaut, I d, II d, III d, drei Arterien der rechten, normalen Schwimmhaut.

Was kann aber die Ursache dieser Differenz sein? Natürlich denkt man zuerst an die nivellierende, ordnende Wirkung des Zen-

---

[1] Vulpian (Comptes rend. d. la Soc. d. Biol., 1856, p. 183) hat im ganzen dieselben Erscheinungen an der Ohrarterie des Kaninchens nach Durchschneidung des Nerv. sympath. gesehen. Nachdem er das Wiederauftreten der spon-

tralnervensystems, deren die entnervten Gefässe beraubt sind. Die Abwesenheit eines Unterschieds in den ersten 3 bis 5 Wochen stellt aber einen wichtigen Gegengrund dar. Eins fällt aber ins Auge, dass das Anwachsen der spontanen Kontraktionen parallel mit der anwachsenden Gefässverengerung, mit der Anämie der Schwimmhaut verläuft. Oben zeigte ich aber, dass gerade bei anämischen Tieren die spontanen Kontraktionen am intensivsten sind. Die Beobachtungen, dass sie auch bei jungen wachsenden und sehr starken, beweglichen, frisch eingefangenen Fröschen besonders gut ausgeprägt sind, kann man, meiner Meinung nach, in demselben Sinne deuten. In beiden Fällen sind die Oxydationsprozesse höchst intensiv, das O_2-Bedürfniss gesteigert.

Was wunderliches, wenn dabei ein wenn auch relativer O_2-Mangel zu stande kommt. Auch die Temperaturwirkung kann man damit in Einklang bringen: bei erhöhter Temperatur sind die Oxydationsprozesse erhöht, bei erniedrigter herabgesetzt; im erstem Falle entsteht leicht ein O_2-Mangel, in zweitem wird er beiseitigt.

Viele andere Erscheinungen — von verschiedenen Autoren gesammelt — bezeugen ebenfalls, dass Anämie, resp. O_2-Mangel ein Erreger der spontanen Kontraktionen ist. Hier will ich nur die Ergebnisse von O. B. Meyer[1] und Günther[2] anführen: Meyer erhielt bei ungenügender O_2-Versorgung der ausgeschnittenen Arterienstreifen unregelmässige, ziemlich bald verschwindende spontane Kontraktionen. Rhytmische und lange dauernde solche bekam Günther bei besserer O_2-Versorgung; bei erhöhter O_2-Zufuhr verschwanden die Kontraktionen. Es liegt an der Hand in den Meyer'schen Kontraktionen Erstickungskontraktionen, in den Günther'schen Kontraktionen solche bei mässigem O_2-Mangel zu sehen.

Waren die Streifen mit O_2 gesättigt, so sah man auch keine Kontraktionen.

---

tanen Kontraktionen beschrieben hat, fügt er hinzu: »Il (le mouvement rhythmique) est au moins aussi marqué que dans l'oreille du coté opposé: il y a plus, dans 2 cas sur 3 j'ai compté un nombre de mouvements plus considerable dans l'oreille du coté operé que dans l'oreille du coté opposé. Le rapport était de deux à un ou moins.» — Wenn diese Erscheinung gleich mit dem Wiederauftreten der spontanen Kontraktionen beobachtet wurde — wie dies wohl aus dem Texte hervorzugehen scheint — so habe ich so was bis jetzt noch niemals beobachtet. Desgleichen Callenfels.

[1] O. B. Meyer, Zentralblatt für Physiol., 1909, S. 685; — Zeitschr. f. Biol., 61, S. 275; 1913.

[2] Günther, Zeitschr. f. Biol., 65, S. 401; 1915.

Alle diese Ergebnisse zeigen, dass wir in der Anämie wie im O_2-Mangel einen Erreger der spontanen Kontraktionen haben. Ich bin natürlich weit davon entfernt, im O_2-Mangel den einzigen Erreger zu sehen, denn es unterliegt kaum einem Zweifel, dass in den oben angeführten Beispielen der Verstärkung der spontanen Kontraktionen bei den Fröschen auch andere Factoren im Spiel waren. Auf Grund dieser Ergebnisse, bin ich geneigt, auch die Verstärkung der spontanen Kontraktionen der entnervten Schwimmhautarterien, wenigstens zum grossen Teil, auf Anämie und nicht auf die Nervenläsion zurückzuführen. Wie es dem auch sei, ist es wichtig nochmals zu betonen, dass in den ersten Wochen nach der Plexus-Durchschneidung kein Unterschied zwischen den spontanen Kontraktionen der normalen und der entnervten Gefässen zu bemerken war.

Nach Zerstörung des Zentralnervensystems verschwinden die spontanen Kontraktionen. Einige Minuten nach der Zerstörung sind die Gefässe stark erweitert (bis aufs doppelte), der Blutlauf verlangsamt. Die Zirkulation sistiert nicht später als nach 24 Stunden (Nussbaum). Die Abhängigkeit der spontanen Kontraktionen vom Zentralnervsystem bezeugen diese Versuche natürlich nicht. Die Durchschneidung des Plexus ischiad. — eine doch ziemlich geringe Verletzung — unterdrückt ja dieselben auf 24—48 Stunden. Die Verletzung bei der Zerstörung des Zentralnervensystems ist natürlich viel stärker und die Tiere sterben gewöhnlich vor 24 Stunden. Die Gefässe haben also keine Zeit, sich von dieser stärker Verletzung zu erholen.

Die Veränderungen des Blutdruckes nach dem Vagusstillstand.

Von

Robert Tigerstedt und H. Ryömä. [1]

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

Von vorherein lässt sich nach Ende eines Vagusstillstandes eine mehr oder minder flüchtige Steigerung des arteriellen Blutdruckes erwarten. Während des Herzstillstandes sammelt sich ja eine grössere Blutmenge als sonst sowohl im Herzen selber als auch in den zentralen Venen, und wenn die Unterbrechung des Kreislaufes etwas länger dauert, tritt ein Zustand von Erstickung auf, der seinerseits die Zentren der Gefässnerven erregt. Bei den ersten nach dem Stillstande erscheinenden Herzschlägen wird daher eine abnorm grosse Blutmenge aus dem Herzen herausgetrieben, und da die verstärkte Zusammenziehung der Gefässmuskulatur nicht augenblicklich aufhört, ist gleichzeitig der Widerstand in der Gefässbahn erhöht. Alle beiden Momente tragen dazu bei, den arteriellen Blutdruck in die Höhe zu treiben, und diese Drucksteigerung dauert dann eine kürzere oder längere Zeit fort, bis der Gefässtonus auf den früheren Stand herabgesunken und das Blut gleichmässiger verteilt worden ist.

In der umfangreichen Litteratur über die Einwirkung des Vagus auf den Kreislauf finden sich viele Beispiele von der betreffenden Drucksteigerung, und vor kurzem hat Tawaststjerna [2] am Frosche diese Frage erörtert.

So viel uns bekannt ist, finden sich dagegen keine näheren Untersuchungen über die bei den Säugetieren dabei stattfindenden

---

[1] Der Redaktion am 5. Mai 1917 zugegangen.

[2] Tawaststjerna, Skand. Arch. f. Physiol., 36, S. 76; 1916.

quantitativen Verhältnisse vor. Die vorliegende Mitteilung bezweckt diese Frage etwas aufzuklären.

Die Versuche fanden ausschliesslich am Kaninchen statt. Um den Einfluss der beim Herzstillstand auftretenden Muskelkrämpfe zu vermeiden, waren die Tiere kuraresiert. Die zur Unterhaltung der künstlichen Atmung in die Lungen des Tieres eingeblasene Luft war mit Aeterdämpfen geschwängert.

Der Blutdruck wurde mit dem Federmanometer von O. Frank registriert.

Die Registrierung fand am elektrisch getriebenen Kymographion von Blix-Sandström bei einer Geschwindigkeit von bzw. 1, 10 und 50 Sekunden in der Minute (nach den Angaben am Apparate) statt.[1] Da der Gang dieses Instrumentes äusserst gleichmässig ist, verzichteten wir auf eine direkte Zeitregistrierung. Erst zu spät erwies es sich indessen, dass diese Zahlen bei dem von uns benutzten Strom zu gross waren, und dass also die wirkliche Geschwindigkeit tatsächlich kleiner als am Apparate angegeben gewesen war. In folge dessen sind die von uns unten mitzuteilenden Zeitangaben an und für sich etwas zu klein und können also keine Ansprüche auf vollständiger Exaktkeit in absolutem Mass erheben.

Zur Reizung wurde stets der rechte Vagus unter Anwendung des Induktionsapparates von Blix benutzt. Die Reizstärke war in der Regel maximal, d. h. sie bewirkte nach der gewöhnlichen Latenzdauer sofort Stillstand des Herzens.

I.

Zur ersten Orientierung teilen wir einige Versuchsbeispiele, wo die Registrierung bei sehr langsamer Geschwindigkeit der Registriertrommel — 1 mm in der Sekunde — stattfand, hier mit. Diese Beispiele sollen den Einfluss eines verschieden langen Herzstillstandes auf die Höhe des Blutdruckes, die Grösse der pulsatorischen Druckschwankung sowie auf die Dauer der betreffenden Veränderungen in leicht übersichtlicher Form darbieten.

---

[1] Blix, Arch. f. d. ges. Physiol., 90, S. 405; 1902.

In den folgenden Abbildungen bezeichnet die Linie *a* die Abszisse des Manometers; die unterste Linie gibt die Dauer der Reizung an. In einigen Versuchen versagte indessen das hierzu benutzte elektrische Signal, was dennoch von keinerlei Bedeutung ist, da die Dauer des Stillstandes ja an der Blutdruckkurve und nicht an der Signalkurve gemessen werden soll.

Da auf die absoluten Zahlen für den Blutdruck hier nicht ankommt, haben wir die Resultate in mm Manometerauschlag angegeben. Nach der Kalibrierung entspricht 1 mm an der Kurve im allgemeinen einer Druckschwankung von 13—15 mm Hg.

Um die bei der direkten Messung der mit kleiner Trommelgeschwindigkeit geschriebenen Kurven verbundene Lästigkeit zu entgehen, schlugen wir folgendes Messverfahren ein. Die Originalkurven wurden auf Glas photographiert, das Negativ in ein Projektionsapparat gebracht und auf Millimeterpapier projiziert, wobei natürlich beachtet wurde, dass die Abzisse der Kurve mit einer der horizontalen Linien des Papiers genau zusammenfiel. Da das photographische Negativ immer gleichgross war, die Grösse der photographierten Abschnitte der Kurven aber etwas wechselte, war die Vergrösserung bei den einzelnen Versuchen etwas verschieden und betrug etwa 2.5 bis 3.5 Mal. Die unten mitgeteilten Zahlen sind in entsprechendem Grade auf die richtige Grösse reduziert.

Um die Resultate der Versuche übersichtlich darzustellen, haben wir dieselben tabellarisch aufgestellt und dabei die Dauer der Reizung, den Druck (Minimum und Maximum) vor jeder Reizung, den maximalen Druck nach der Reizung sowie die Zeit, nach welcher der Druck wieder etwa auf seine ursprüngliche Grösse herabgesunken ist, und die dabei erreichten Druckwerte aufgenommen.

Im Versuch vom 11. Dez. 1912 wurden sechs Reizungen von einer Dauer von 1.9 bis 12.7 Sek. vorgenommen und dabei folgende Veränderungen erhalten (vgl. auch Fig. 1).

Nr. der Reizung	Dauer der Reizung; mm	Druck; mm vor der Reizung		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
1	1.9	3.5	6.2	6.6	6.5	3.1	5.8
2	3.1	3.1	6.2	[1]—	[1]—	[1]—	[1]—

[1] Unmessbar.

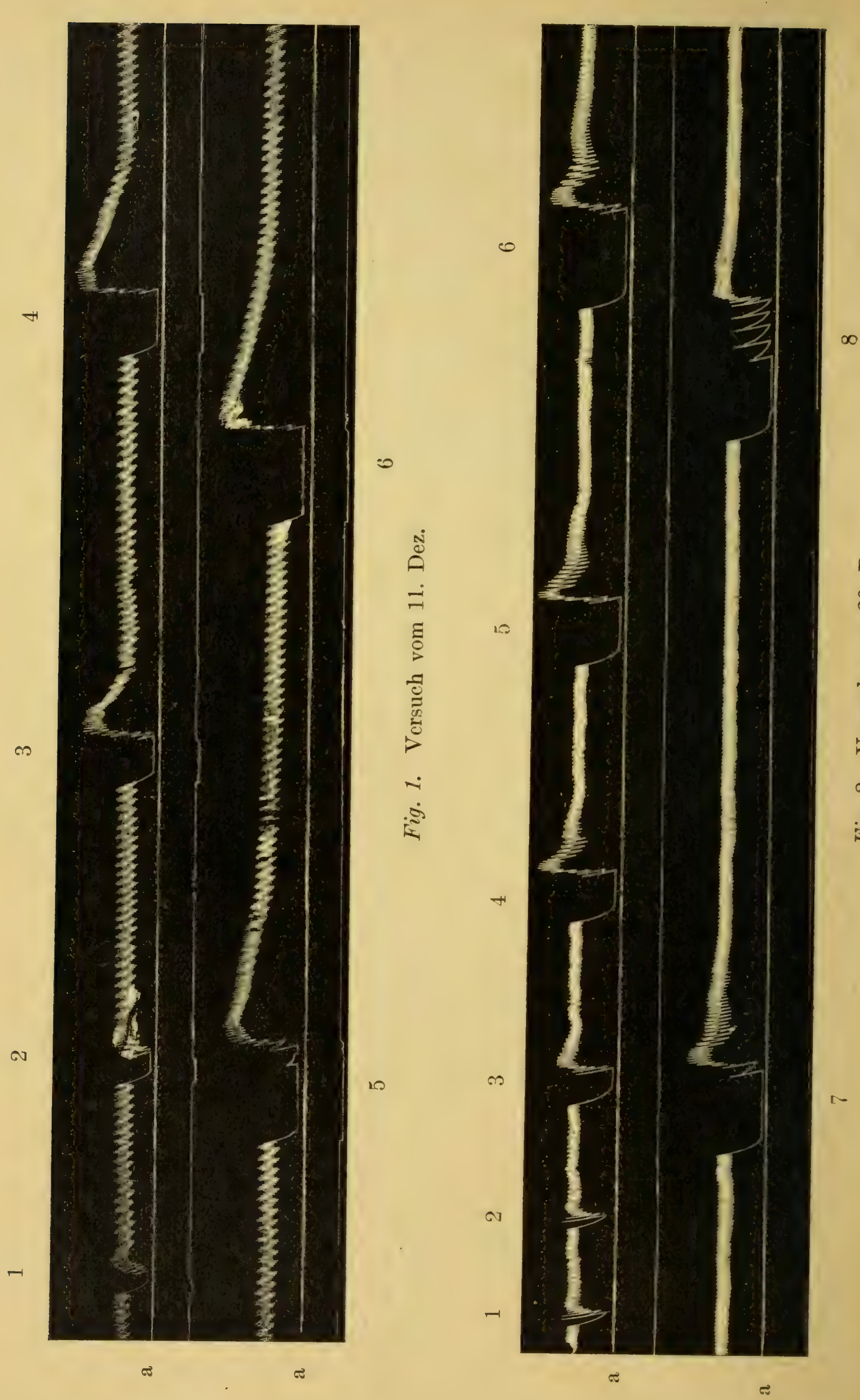


Fig. 1. Versuch vom 11. Dez.

Fig. 2. Versuch vom 20. Dez.

Nr. der Reizung	Dauer der Reizung; mm	Druck; mm vor der Reizung		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
3	4.6	3.1	6.2	10.4	18.5	3.1	5.8
4	7.7	3.5	6.2	11.9	28.9	3.5	6.6
5	12.7	3.5	6.6	11.6	35.4	4.2	6.9
6	12.4	3.1	6.2	12.3	38.5	4.6	7.3

Nach jeder Reizung erreicht der maximale Druck innerhalb einer kurzen Zeit eine Höhe, die um so mehr den Stand vor der Reizung überragt, je länger der Stillstand gedauert hat. Die beträffende Steigerung beträgt bzw. 0.4, —, 4.2, 5.7, 5.0 und 6.1 mm. Nach diesem Maximum sinkt der Druck allmählich wieder herab, und erreicht das frühere Niveau um so später, je grösser das betreffende Maximum gewesen ist (vgl. Stab 6 bis 8).

Ganz dieselben Resultate gehen aus dem Versuch vom 20. Dez. 1912, wie aus folgender Tabelle ersichtlich, hervor (vgl. Fig. 2).

Nr. der Reizung	Dauer des Stillstandes; mm	Druck; mm vor der Reizung		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
1	0.7	5.1	6.6	7.3	4.8	4.8	6.6
2	1.1	5.1	6.6	7.3	5.9	5.1	6.6
3	3.7	5.1	7.0	8.4	12.8	5.1	7.0
4	5.5	4.8	6.6	11.3	16.5	5.1	6.6
5	8.1	4.8	6.6	11.7	22.0	4.8	6.2
6	11.7	4.8	6.6	10.6	31.1	5.1	7.0
7	9.9	4.4	6.5	10.6	29.3	4.8	6.6
8	18.3	4.8	6.2	8.4	29.3	5.1	7.0

Auch hier ist die nach Schluss der Reizung auftretende Zunahme des Druckes im allgemeinen um so grösser, je länger die Reizung stattgefunden hat, und um so länger die Zeit, innerhalb welcher der Druck seinen Stand vor der Reizung wieder erreicht.

Eine weitere Bestätigung des betreffenden Verhaltens bietet der Versuch vom 27. Nov. 1912 dar (vgl. Fig. 3).

Nr. der Reizung	Dauer der Reizung; mm	Druck vor der Reizung; mm		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
1	—	—	—	—	—	—	—
2	0.3	7.1	8.6	8.3	4.7	7.1	8.3
3	0.3	7.1	8.6	8.3	2.4	6.8	8.3
4	0.6	7.1	8.6	8.6	3.0	6.8	8.6
5	0.9	6.8	8.3	9.2	5.9	6.8	8.6
6	2.4	7.1	8.9	9.7	13.9	7.1	8.6
7	4.4	6.8	8.6	11.2	17.1	6.8	8.6
8	5.9	6.8	8.6	12.7	18.9	6.8	8.6
9	10.0	7.1	8.6	13.6	28.0	7.4	9.2
10	11.8	7.4	8.9	14.2	26.6	7.1	8.9
11	4.4	7.1	8.9	10.3	18.3	7.4	8.9
12	3.0	7.4	8.9	9.4	13.0	7.4	8.9
13	1.2	7.1	8.6	9.2	5.9	7.1	8.6
14	0.3	7.4	8.6	8.3	—	—	—
15	0.6	8.0	9.2	9.4	7.1	8.0	9.2
16	0.9	8.0	9.2	10.0	10.3	7.7	8.9
17	3.0	7.7	8.9	11.5	16.2	7.4	8.9
18	6.5	7.7	9.2	13.3	17.1	7.4	8.9
19	8.9	7.4	8.9	14.5	22.1	7.4	8.9

Hier ist der Vagus bis zu Nr. 10 mit zunehmender Reizungsdauer — von 0.3 bis 11.8 mm — gereizt worden, dann wurde einige kürzere Reizungen mit absteigender Reizdauer — von 4.4 auf 0.3 mm — eingeschaltet, und schliesslich wieder mit zunehmender Dauer gereizt.

Die bei gleicher Reizungsdauer erzielten Maxima sind in der Tabelle S. 18 zusammengestellt.

Auch die Zeit, welche nach den einzelnen Reizungen nötig ist, damit der Druck auf sein ursprüngliches Niveau herabsinkt, nimmt hier wie in den früheren Versuchen um so mehr zu, je länger die Reizung gedauert hat.

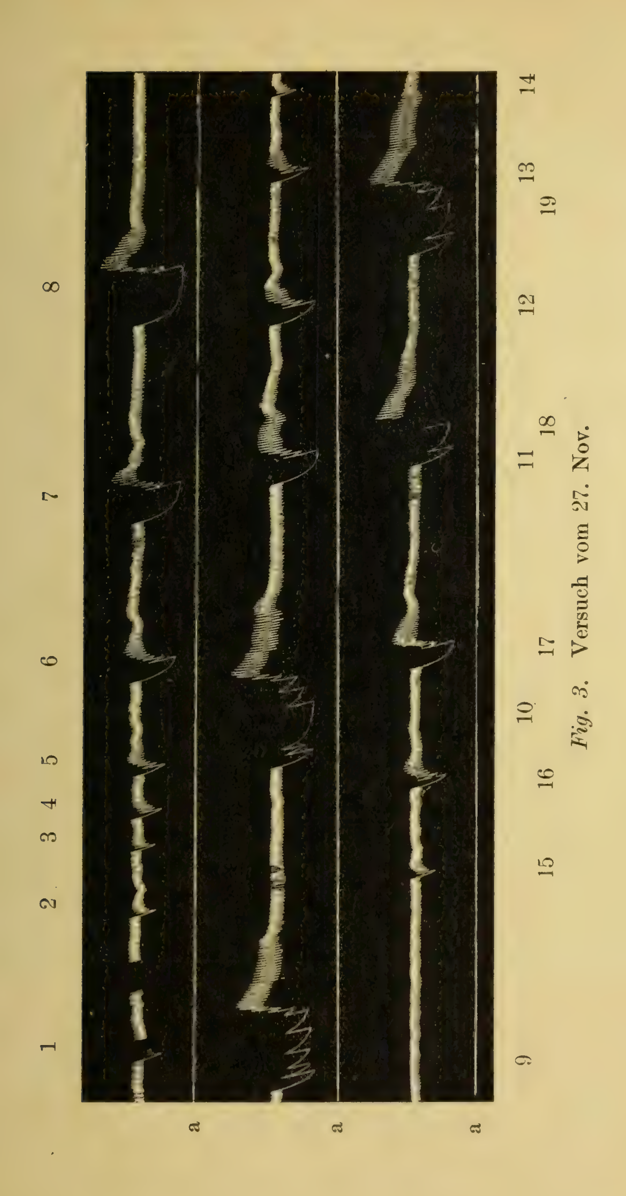


Fig. 3. Versuch vom 27. Nov.

Dauer; mm	Maximum nach der Reizung; mm		Nr. der Reizung
	Einzelwerte	Mittel	
0.3	8.3	8.3	2, 3, 14
0.6	8.6, 9.4	9.0	4, 15
0.9	9.2, 10.0	9.6	5, 16
1.2	9.2	9.2	13
2.4—3.0	9.7, 9.4, 11.5	10.2	6, 12, 17
4.4	11.2, 10.3	10.8	7, 11
5.9—6.5	12.7, 13.3	13.0	8, 18
8.9—10.0	13.6, 14.5	14.1	9, 19
11.8	14.2	14.2	10

Wenn während der Reizung der Stillstand durch vereinzelte Herzkontraktionen unterbrochen wird, so wird die nach Schluss der Reizung erscheinende Drucksteigerung in der Regel kleiner als sonst zu erwarten wäre. Beispiele davon bieten schon Versuch von 11. Dez. (Fig. 1, Nr. 5) und Versuch vom 20. Dez. (Fig. 2, Nr. 8).

Noch deutlicher geht dies aus den in folgender Tabelle zusammengestellten Versuchen vom 27. Nov. (Fig. 4), 1. Dez. (Fig. 5) und 13. Dez. 1912 (Fig. 6 und 7) hervor (Seite 20, 21).

Nr.	Dauer der Reizung; mm	Druck vor der Reizung; mm		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
Versuch vom 27. Nov.							
1	0.3	5.9	7.6	7.6	5.0	5.9	7.6
2	0.7	5.9	7.3	7.9	5.6	5.9	7.6
3	1.3	5.6	7.3	8.3	10.6	5.9	7.6
4	2.3	5.9	7.6	9.2	12.5	6.3	7.9
5	4.0	5.9	7.6	11.2	16.5	6.3	7.9
6	5.6	6.3	7.6	11.6	—	—	—
7	5.6	6.3	7.6	11.9	22.1	6.3	7.9
8	8.3	6.3	7.6	10,9	26.4	5.9	7.6

Nr.	Dauer der Reizung; mm	Druck vor der Reizung; mm		Maximaler Druck nach der Reizung; mm	Nach mm	Druck; mm	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
Versuch vom 1. Dez.							
1	1.1	6.4	9.7	10.1	6.6	5.7	9.0
2	2.6	6.1	9.0	9.7	9.9	5.4	8.6
3	4.8	5.7	9.0	14.9	29.3	5.4	9.4
4	7.7	5.0	9.7	10.1	15.4	4.6	8.6
5	6.6	4.3	9.0	10.1	18.3	4.3	8.6
Versuch vom 13. Dez. a.							
1	0.3	5.9	7.3	8.0	6.2	5.5	7.3
2	0.7	5.2	7.3	7.6	6.9	5.2	6.9
3	1.0	4.9	6.9	7.3	10.7	4.9	6.6
4	2.1	4.5	6.2	6.6	13.5	4.9	6.2
5	3.1	5.2	7.3	9.7	15.2	4.9	6.6
6	4.5	4.9	6.6	9.0	18.3	4.5	6.2
7	5.9	5.5	7.6	9.7	18.6	4.9	6.6
8	6.9	4.9	6.9	9.0	20.0	5.2	6.2
Versuch vom 13. Dez. b.							
1	0.5	4.5	6.9	8.0	4.5	4.5	6.9
2	1.0	4.2	6.9	7.6	9.7	4.2	6.9
3	2.1	3.8	6.6	8.0	14.8	3.5	6.2
4	3.1	3.5	6.2	8.3	16.2	3.1	5.5
5	3.5	3.1	5.5	8.0	15.2	2.8	5.2
6	3.8	2.8	5.5	9.3	16.6	3.5	6.2
7	4.5	3.5	6.2	9.0	16.6	3.1	5.9
8	4.1	3.1	5.9	8.7	19.0	2.8	5.5
9	5.2	3.1	5.5	8.3	16.9	2.8	5.9

Im Versuch vom 27. Nov. (Fig. 4) steigt der maximale Druck nach den 5.6 Sekunden langen Reizungen Nr. 6 und 7 auf durchschnittlich 11.8, während er nach der 8.3 Sekunden dauernden Reizung Nr. 8 sich nur auf 10.9 mm erhebt. Im letzten Falle wurde

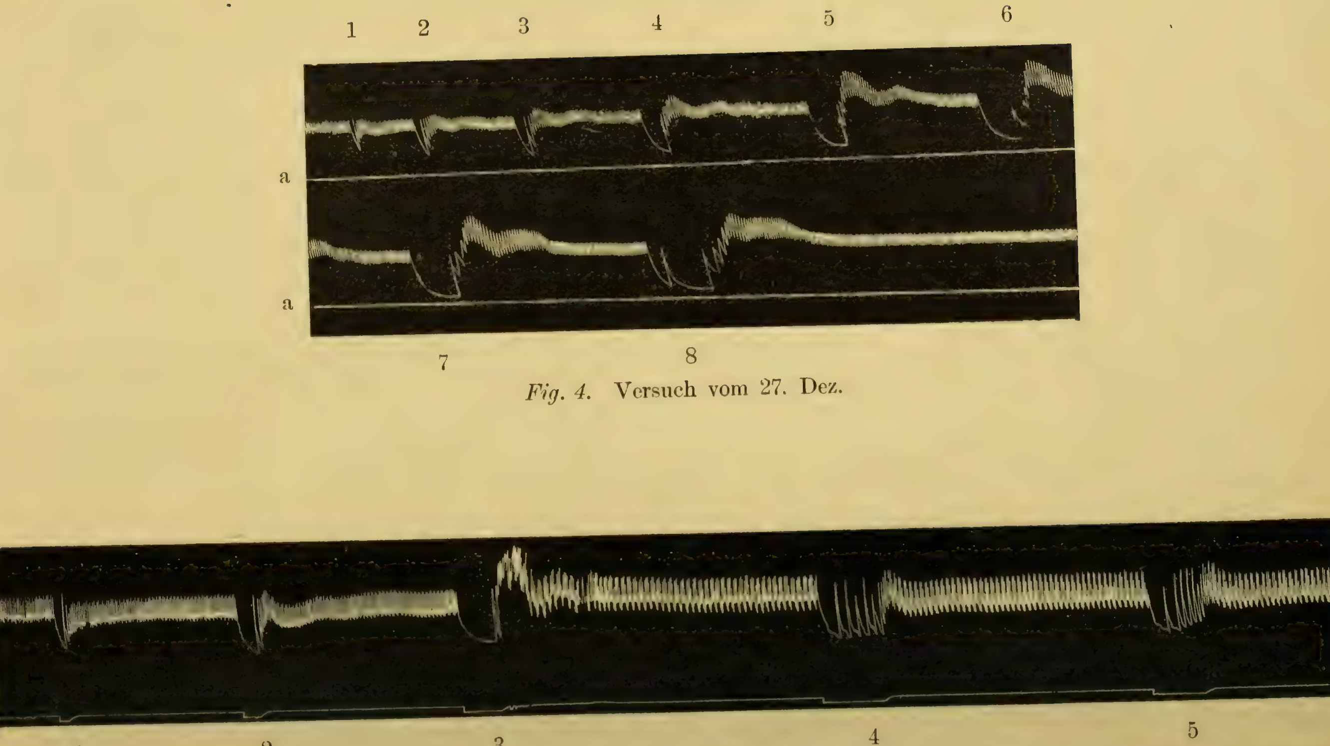


Fig. 4. Versuch vom 27. Dez.

Fig. 5. Versuch vom 1. Dez. Die Abszisse ist hier nicht gezeichnet. Sie liegt etwa 6 mm oberhalb der Linie, welche den Reiz angibt.

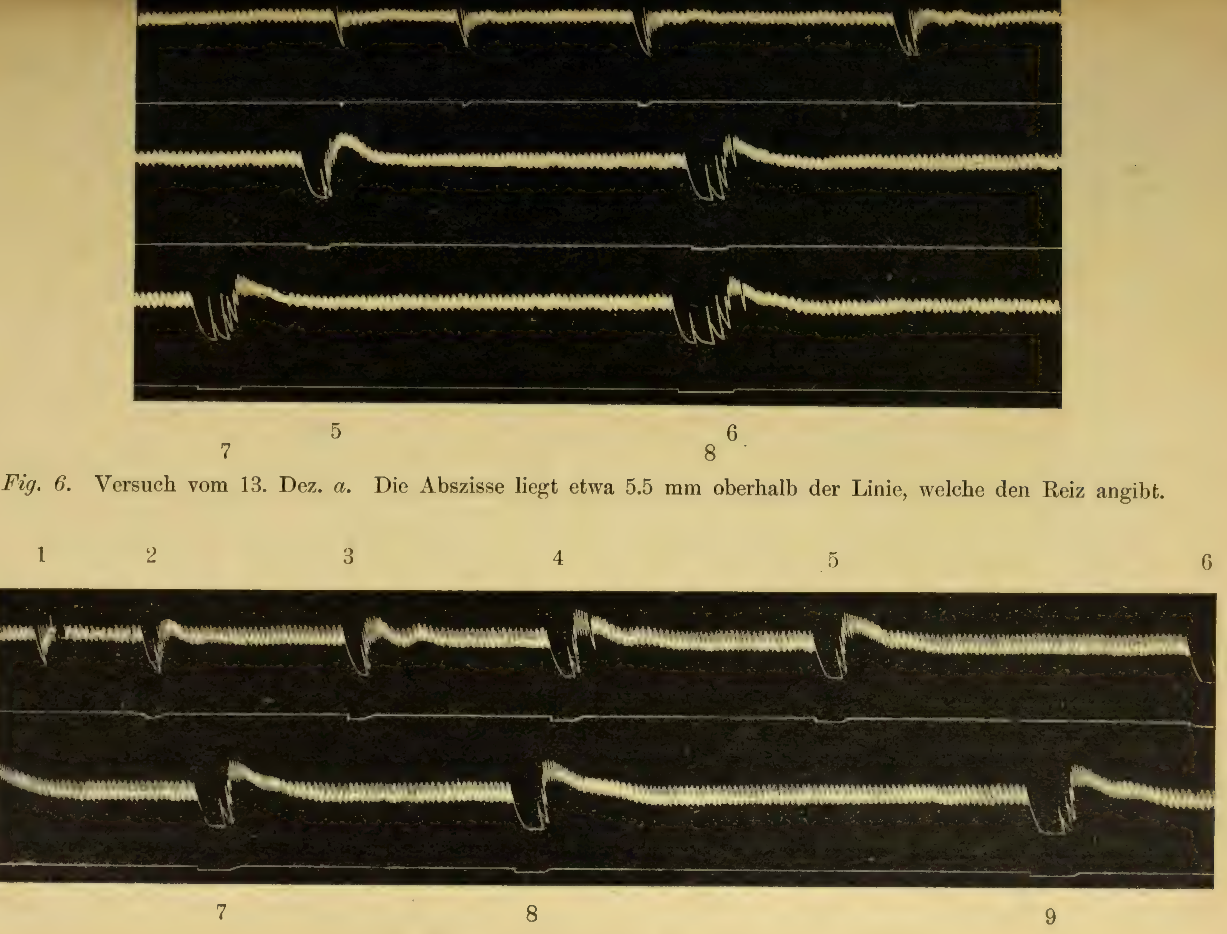


Fig. 6. Versuch vom 13. Dez. *a.* Die Abszisse liegt etwa 5.5 mm oberhalb der Linie, welche den Reiz angibt.

Fig. 7. Versuch vom 13. Dez. *b.* Vgl. Fig. 6.

der Stillstand aber durch eine kräftige Systole im ersten Drittel der Reizung unterbrochen.

Der Versuch vom 1. Dezember (Fig. 5) bietet nur bei einer einzigen Reizung (Nr. 3) einen länger dauernden Stillstand dar. Die Reizung dauerte dabei 4.8 mm und nach derselben stieg der maximale Druck auf 14.9 mm, d. h. um 5.9 mm an. Die zwei folgenden Reizungen von 7.7 und 6.6 mm Dauer ergaben allerdings eine sehr bedeutende Retardation, aber keine ausgeprägten Stillstände. Nach ihnen stieg der Druck nur wenig höher als vor der Reizung, 0.4 bis 1.1 mm.

Beim Versuch vom 13. Dez. *a* (Fig. 6), wo kein länger dauernder Stillstand erschien, ist auch die Drucksteigerung nach Ende der Reizung ziemlich unbedeutend und beträgt im Maximum bei einer Reizungsdauer von 3.1 bzw, 5.9 mm (Nr. 5 und 7) nur 2.4 bzw. 2.1 mm.

Dasselbe ist beim Versuch vom 13. Dez. *b* der Fall, indem bei Zunahme der Reizungsdauer von 3.8 auf 5.2 mm das nach Ende der Reizung erreichte Maximum im grossen uud ganzen ziemlich unverändert bleibt.

Wir finden also, dass, *wenn der Vagusstillstand nicht durch eingeschaltete Herzkontraktionen unterbrochen wird, der Blutdruck nach Ende desselben in schnellem Zuwachs eine Höhe erreicht, die bis zu einer gewissen oberen Grenze um so bedeutender ist, je länger die Reizung, d. h. der Stillstand gedauert hat.*

Um diese Abhängigkeit des Maximaldruckes von der Reizungsdauer deutlicher hervortreten zu lassen, haben wir in Fig. 8 die betreffenden Beobachtungen von Fig. 1 bis 4 sowie bei einem hier nicht abgebildeten Versuch in ein Koordinatensystem eingetragen, wo die Abszisse die Dauer des Stillstandes und die Ordinaten die entsprechende maximale Höhe des Blutdruckes darstellen.

Wie schon bemerkt, muss die vorliegende Drucksteigerung wesentlich von der in den zentralen Venen und im Herzen selber während des Herzstillstandes gesammelten Blutmenge herrühren. Dafür spricht der grosse Umfang des Pulsdruckes bei den nach Ende des Stillstandes erscheinenden Herzkontraktionen ohne weiteres.

Es fragt sich aber, ob ausserdem noch ein vermehrter Gefässtonus hierbei beteiligt ist, denn es lässt sich ja denken, dass beim stattgefundenen Herzstillstand das Gefässnervenzentrum durch die

jedenfalls früher oder später eintretenden asphyktischen Veränderungen des Blutes in erhöhte Tätigkeit gebracht worden ist.

Es scheint uns indessen, dass dies in unseren Versuchen nur in geringem Grade der Fall gewesen ist. Wissen wir ja, dass beim künstlich geatmeten kuraresierten Kaninchen eine Zeit von etwa 15 bis 20 Sekunden vergeht, bevor nach Aufhebung der künstlichen

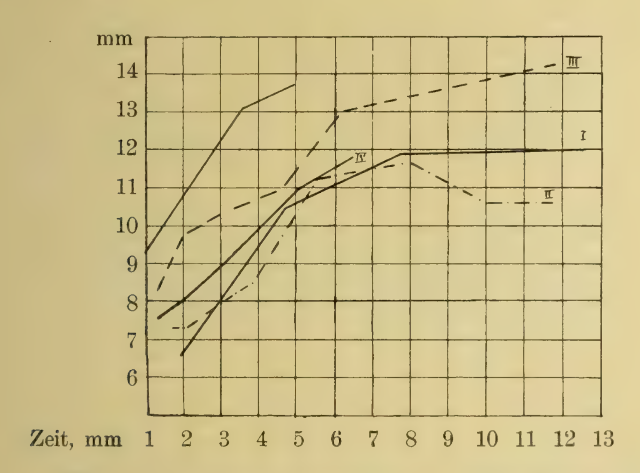


Fig. 8. Graphische Darstellung der Abhängigkeit des Maximaldruckes von der Dauer des Vagusstillstandes.

Atmung die Gefässkontraktion erscheint. Bei unseren Versuchen war indessen die Dauer des Herzstillstandes, bei welcher in den einzelnen Versuchen die maximale Drucksteigerung auftrat, wesentlich kleiner, und während dieser Zeit hat sich also, aller Wahrscheinlichkeit nach, keine stärkere Erregung des Gefässnervenzentrums ausbilden können.

Auf Grund dessen folgern wir, dass hier eine ziemlich reine Veränderung der Herztätigkeit vorliegt; die in den zentralen Venen wie im Herzen selber während des Herzstillstandes angehäufte Blutmenge ist so gross, dass das Herz jetzt die Gelegenheit hat, in der Zeiteinheit eine grössere Blutmenge als sonst in die Gefässe hinauszutreiben, und dies hat seinerseits eine mehr oder weniger lange dauernde Drucksteigerung zur Folge.

Die Richtigkeit dieser Überlegung wird durch die Stromeichung (s. Abschnitt II) direkt dargetan.

Wenn nur ein einzelner Herzschlag ausfällt, regelt sich die Sache sofort: der erste danach folgende Herzschlag ist umfangsreicher als normal, und obgleich dieser von einem verhältnismässig niedrigen diastolischen Druckwert ausgeht, erhebt sich der Druck sofort auf das normale Maximum, kann aber dabei auch den normalen Druck etwas übertreffen. Dies kommt beim Versuch vom 13. Dez. 1912 (Fig. 9), wo der Vagus wiederholt mit flüchtigen Reizen gereizt wurde, nach mehreren Reizungen sehr deutlich zum Vorschein.

Hier, wie z. B. in Fig. 2 (1 und 2), Fig. 3 (5), Fig. 4 (1 und 2), Fig. 5 (1 und 2), Fig. 6 (1 bis 3), ist, wegen der kurzen Dauer des Herzstillstandes, nur eine verhältnismässig geringe Blutmenge

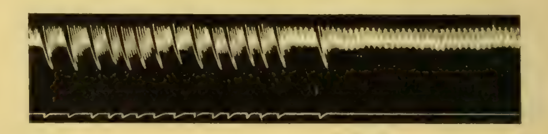


Fig. 9. Versuch vom 13. Dez.

in den zentralen Venen stehen geblieben, und die nachfolgende Drucksteigerung ist daher ebenso flüchtig wie der vorhergehenden Herzstillstand.

Je länger letzterer aber dauert, um so länger behauptet auch der Druck seinen erhöhten Stand, und eine Zeitlang hat die Blutdruckkurve eine kuppelartige Form, um dann mehr oder weniger schnell auf den Stand vor aller Reizung zu sinken.

Damit stimmt auch die Tatsache, dass die Drucksteigerung nach Ende der Reizung kleiner ist, wenn der Stillstand durch einzelne Herzkontraktionen unterbrochen wird, gut überein.

Wir haben schon oben gelegentlich bemerkt, dass die Dauer der nach der Reizung folgenden Drucksteigerung, bis der normale Druck wieder erreicht wird, um so grösser ist, je länger der Stillstand gewesen ist.

Zusammenfassend finden wir in dieser Beziehung, dass diese Zeit bis auf das vier- bis fünffache und mehr zunimmt, wenn die Dauer der Reizung (des Stillstandes) von etwa einem Millimeter auf etwa 8 bis 12 Millimeter ansteigt.

Unter den oben zusammengestellten Versuchen finden sich auch Beobachtungen, bei welchen der Druck während eines ziemlich langen zeitlichen Intervalls zwischen je zwei Reizungen noch nicht auf den Stand vor der Reizung herabgesunken ist (vgl. Versuch vom 11. Dez. 4 und 5), und im Versuch vom 27. Nov. ist kurz vor der 18. Reizung sowohl der minimale als der maximale Druck um 0.6 mm höher als zu Beginn der Reizung. Hier liegt, wie es scheint, dieselbe Erscheinung vor, welche C. Tigerstedt[1] nach intravenöser Transfusion kleiner Flüssigkeitsmengen beobachtet hat, nämlich dass es bei einmal vermehrter Blutmenge in den zentralen Venen verhältnismässig lange dauert, bis sich ein Gleichgewichtszustand im Kreislauf wieder einstellt.

II.

Um die aus dem Verhalten der Blutdruckes gezogenen Folgerungen zu erhärten, haben wir mit Hilfe der Stromuhr den Blutstrom in der Aorta vor und nach dem Vagusstillstand geeicht. Wenn man nämlich beim Einbinden der Stromuhr den Kreislauf nicht durch Kompression der Vorhöfe, sondern durch Ligatur der Pulmonalis aufhebt, so bleiben die hemmenden Herznerven zum grösseren Teil wenigstens unversehrt (C. Tigerstedt[2]), und man kanu also auch die unter deren Einfluss stattfindenden Veränderungen der Herztätigkeit durch Messung der in der Aorta strömenden Blutmenge feststellen.

In den folgenden Versuchsprotokollen bezeichnen wir, wie gewöhnlich, als Periode die Zeit, während welcher der Zylinder der Stromuhr gefüllt wird, d. h. die Zeit, während welcher 10.4 ccm Blut vom linken Herzen herausgetrieben worden sind.

Um die nach Ende des Stillstandes stattfindende Grösse des Blutstromes sofort zu eichen, wurde im Anfang der Reizung der Zylinder der Stromuhr abgestellt, so dass das Blut direkt aus dem Herzen in den peripheren Schenkel der Stromuhr hineintrat. Nach eingetretenem Stillstand wurde dann die Verbindung mit dem Zylinder wieder hergestellt, die Reizung fortgesetzt und beim Erscheinen des ersten Herzschlages sogleich unterbrochen.

---

[1] C. Tigerstedt, Skand. Arch. f. Physiol., 22, S. 157; 1909.
[2] C. Tigerstedt, ebenda, 20, S. 332; 1908.

Die Resultate dieser Versuche sind aus folgenden Tabellen ersichtlich. Die Druckmessung fand mit dem Hg-Manometer statt.

Versuch vom 24. Okt. 1916. Kaninchen, 2000 g.

Laufende Zeit [1]; Sek.	Periode	Mittlerer Druck; mm Hg	Stromvolumen; ccm pro Min. und kg	Pulsfrequenz in 10 Sek.	Anmerkungen
9	1—10	76	46	30	Mittel
69	11	20[1]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
78	12	112[2]	unsicher	unsicher	8.5″. [1] Druckminimum.
	13	85	59	25	[2] Druckmaximum.
	14	63	57	30	
	15	55	52	29	
102	16	51	52	29	
	17	47	50	28	
	18	47	50	28	
	19	45	50	28	
127	20	44	48	27	
	Neue Reihe				
0	1—10	54	31	23	
100	11	19[3]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
114	12	90[4]	31	12	14″. [3] Druckminimum.
	13	62	39	17	[4] Druckmaximum.
	14	45	36	20	
	15	43	34	21	
150	16—23	48	32	22	Mittel
229	24	20[5]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
	25	64[6]	32	12	4″. [5] Druckminimum.
	26	50	33	22	[6] Druckmaximum.
254	27—35	46	31	21	Mittel
346	36	16[7]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
	37	74[8]	29	12	10″. [7] Druckminimum.
	38	48	37	19	[8] Druckmaximum.
	39	38	32	20	

[1] Am Anfang der entsprechenden Periode.

Laufende Zeit; Sek.	Periode	Mittlerer Druck; mm	Stromvolumen; ccm pro Min. und kg	Pulsfrequenz in 10 Sek.	Anmerkungen
387	40–46	44	30	21	Mittel
461	47	16[9]	0	0	Vagusreizuug; Stillstand 8.5″. [9] Druckminimum.
	48	66[10]	31	12	[10] Druckmaximum.
	49	44	32	18	
	50	36	34	20	
	51	40	30	21	
510	52—55	40	28	20	Mittel

Versuch vom 11. Nov. 1916. Kaninchen, 2200 g.

Laufende Zeit; Sek.	Periode	Mittlerer Druck; mm Hg	Stromvolumen; ccm pro Min. und kg	Pulsfrequenz in 10 Sek.	Anmerkungen
0	55—64	80	38	24	Mittel
75	65	21[1]	—	--	Vagusreizung; Stillstand 8.7″, von einer Kontraktion unterbrochen. [1] Druckminimum.
85	66	116[2]	40	13	[2] Druckmaximum.
	67	84	43	23	
	68	70	40	23	
	69	77	42	25	
114	70—76	82	39	24	Mittel
165	77	20[3]	0	0	Vagusreizung; Stillstand 3″. [3] Druckminimum.
	78	98[4]	38	15	[4] Druckmaximum.
	79	77	42	21	
	80	76	40	23	
190	81—90	80	38	23	Mittel

Versuch vom 19. April 1917. Kaninchen, 2050 g.

Laufende Zeit; Sek.	Periode	Mittlerer Druck; mm Hg	Stromvolumen; ccm pro Min. und kg	Pulsfrequenz in 10 Sek.	Anmerkungen
0	1—3	78	45	33	Mittel
20	4—10	75	42	33	Mittel
70	11	30[1]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
81	12	98[2]	55	20	6.2″. [1] Druckminimum.
	13	76	44	32	[2] Druckmaximum.
94	14	72	42	34	
	15	69	41	33	
	16	70	40	34	
117	17—21	73	40	33	Mittel
156	22	16[3]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
167	23	78[4]	60	21	8.8″. [3] Druckminimum.
	24	64	43	31	[4] Druckmaximum.
	25	64	40	33	
	26	63	40	33	
194	27—34	61	39	33	Mittel
256	35	22[5]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
269	36	96[6]	57	18	11.5″. [5] Druckminimum.
	37	75	43	30	[6] Druckmaximum.
	38	59	42	33	
289	39—45	60	37	33	Mittel
346	46	12[7]	0	0	Vagusreizung; Stillstand
359	47	96[8]	53	18	11.6″. [7] Druckminimum.
	48	76	43	30	[8] Druckmaximum.
	49	59	38	33	
	50	57	38	33	
388	51—60	65	35	32	Mittel

Im Versuch vom 11. November 1916 wurde durch die Vagusreizung zweimal ein Herzstillstand erzielt.

Derselbe dauerte das erste Mal 8.7 Sek., war aber durch eine eingeschaltete Herzkontraktion unterbrochen, und die Dauer des Stillstandes nach dieser Kontraktion betrug dann nur etwa 5 Sek. Das zweite Mal währte der Stillstand 3 Sek.

Bei der ersten Vagusreizung (Periode 65) sank der Druck auf ein Minimum von 21 mm Hg herab. Vor derselben betrug der mittlere Druck 80 mm Hg und nach derselben war er während der Perioden 67 bis 69 bzw. 84, 70 und 77 und während der Perioden 70 bis 76 durchschnittlich 82 mm Hg. Gleichzeitig nahm das pro kg Körpergewicht und Minute berechnete Stromvolumen von 38 auf 43 (Per. 67) zu und war noch während der Periode 70 bis 76 im Durchschnitt etwas höher als vor der Vagusreizung.

Während des Stillstandes hatte sich demnach in den zentralen Venen eine Blutmenge gesammelt, welche genügte, um eine Zeitlang das Stromvolumen wesentlich zu erhöhen.

Genau entsprechende Ergebnisse wurden bei der zweiten Reizung erzielt.

Die prozentige Zunahme des Stromvolumens im Vergleich zu dem Volumen vor der Reizung war in Maximum bei der ersten Reizung 13 Proz., bei der zweiten 8 Proz.

Da der Druck in den Perioden 68 und 69 wie in den Perioden 79 und 80 trotz dem vermehrten Stromvolumen kleiner war als vor der Reizung, ist es deutlich, dass der Widerstand hier abgenommen hatte.

Im Versuch vom 24. Oktober 1916 betrug der Stillstand 14 Sek. (N. R. Per. 11), 10 Sek. (N. R. Per. 36), 8.5 Sek. (Per. 11 und N. R. Per. 47) und 4 Sek. (N. R. Per. 24).

Die maximale Zunahme des Stromvolumens nach der Vagusreizung in Proz. des früheren Volumens war

N. R. Per. 11 — 26 Proz.
N. R. Per. 36 — 19 Proz.
Per. 11 — 28 Proz.
N. R. Per. 47 — 13 Proz.
N. R. Per. 24 — 3 Proz.

Die Zunahme war also in Per. 11 und N. R. Per. 11 am grössten; die betreffenden Bestimmungen wurden auch wesentlich früher als die übrigen ausgeführt.

Bei diesen, welche ziemlich kurze Zeit nacheinander stattfanden, ist die prozentige Zunahme bei einem 10 und 8.5 Sek. dauernden Vagusstillstand etwa gleichgross, durchschnittlich 15 Proz., während bei einem Stillstand von nur 4 Sekunden Dauer die Zunahme nicht mehr als 3 Prozent beträgt.

Auch in diesem Versuch stellt sich in Folge der Vagusreizung eine allmählich vorübergehende Abnahme des Widerstandes dar, denn trotz des vergrösserten Minutenvolumens ist der Druck nach der Reizung niedriger als vor derselben.

Baim Versuch vom 19. April 1917 wurde vier Mal ein Vagusstillstand von bzw. 6.2, 8.8, 11.5 und 11.6 Sekunden Dauer erzielt. Die dabei auftretende Steigerung des Minutenvolumens im Vergleich mit demjenigen vor der Reizung ist aus folgender Zusammenstellung ersichtlich.

Vagus-reizung während Periode	Dauer Sek.	Prozentige Zunahme während Periode nach der Reizung			
		1. Periode	2. Periode	3. Periode	4. Periode
11	6.2	31	5	0	0
22	8.8	50	8	0	0
35	11.5	46	10	8	—
46	11.6	43	16	3	

Auch hier ist der Druck nach der Reizung etwas herabgesunken; der Widerstand in den Gefässen ist daher nach der Vagusreizung geringer als vor derselben.

Aus diesen Versuchen folgt ohne weiteres, dass die vom Herzen in der Zeiteinheit herausgetriebene Blutmenge nach Ende des Vagusstillstandes eine Zeitlang entschieden grösser als vor demselben ist, wodurch die im früheren Abschnitt gezogenen Schlussfolgerungen direkt bestätigt worden sind.

Betreffend die Zeit, während welcher der Blutstrom nach Ende des Vagusstillstandes noch deutlich erhöht ist, ergeben die vorliegenden Versuche die in folgender Tabelle (S. 31) aufgenommenen Resultate.

Nach einem Stillstand von 4 bis 14 Sekunden Dauer ist also in diesen Versuchen der Blutstrom während 12 bis 30 Sekunden nach dem Ende des Stillstandes deutlich beschleunigt gewesen.

Versuch	Periode	Dauer des Stillstandes; Sek.	Verstärkter Strom während Sek. nach Ende des Stillstandes
24. Okt.	N. R. 24	4	19
	11	8.5	30
	N. R. 47	8.5	29
	N. R. 36	10	29
	N. R. 11	14	26
11. Nov.	77	3	21
	65	8.7	27
19. April	11	6.2	12
	22	8.8	12
	35	11.5	13
	46	11.6	20

III.

Über die Veränderungen in der Dauer der Herzperiode in ihrer Abhängigkeit von der Dauer des vorhergehenden Herzstillstandes haben wir an unseren Kurven zahlreiche Messungen ausgeführt; eignet sich ja das elastischen Manometer Franks besonders gut zu derartigen Messungen. Als Systole bezeichnen wir den Abschnitt von dem ersten Anfang des Druckanstieges bis zum tiefsten Punkt der Inzisur, als Diastole die Entfernung zwischen letzteren und dem Beginn der folgenden Systole.

In erster Linie wollen wir die Gesammtdauer der Herzperiode berücksichtigen.

Schon bei sehr flüchtiger, weniger als 1 Sekunde (= 1 mm, s. oben S. 12) dauernder Reizung tritt eine deutliche Nachwirkung in Bezug auf die Dauer der Herzperiode auf, und zwar nimmt diese Nachwirkung, allerdings innerhalb sehr enger Grenzen, schon bei diesen kurzen Reizungszeiten mit der Reizungsdauer in einem gewissen Grade zu.

Als Belege dafür verweisen wir auf folgende Versuche.

Versuch vom 24. Nov. 1912.

Nr. der Herzkontraktion	Dauer der Herzperiode; Sek.			
	I. 3 Reizungen in 0.06″	II. 5 bis 6 Reizungen in 0.12″–0.13″ [1]	III. 8 bis 9 Reizungen in 0.16″–0.20″ [2]	IV 11 bis 12 Reizungen in 0.26″–0.22″ [3]
1	0.19	0.18	0.21	0.18
2	**0.24**	**0.27**	**0.37**	**0.44**
3	0.20	0.24	**0.44**	**0.40**
4	0.20	0.20	0.26	0.22
5	0.20	0.21	0.25	0.22
6	—	0.20	0.24	0.21
7	—	0.20	0.22	0.21
8	—	0.19	0.22	0.21
9	—	—	0.23	0.22
10	—	—	0.23	0.22

Als Nachwirkung bei der kürzesten Reizung (I), wo die vom Vagus direkt beeinflusste Herzperiode nur um 0.05 Sek. (Nr. 2) zunahm, tritt bei I in Nr. 3 bis 5 eine ganz unbedeutende Verlängerung der Herzperiode von 0.01 Sek. auf. Bei II ist die direkte Verlängerung der Periode 0.09 Sek. und während der nächstfolgenden Herzschläge vermindert sich die Zunahme in Bezug auf die normale Dauer des Herzschlages (0.18 Sek., Nr. 1) während 6 Herzschläge allmählich von 0.06 auf 0.01 Sek.

Bei III bewirkt die Vagusreizung während zwei Herzschläge eine Verlängerung um bzw. 0.16 und 0.23 Sek. Die Nachwirkung macht sich wenigstens 7 Herzschläge geltend und dabei sinkt die Zunahme der Schlagdauer von 0.05 (Nr. 4) auf 0.02 Sek. (Nr. 10).

Die etwas länger dauernde Reizung IV hat keine grössere Wirkung auf die Herzperiode als die Reizung III.

Es kommt aber auch vor, dass bei diesen kleinen Variationen der Reizdauer und der vom Reize direkt beeinflussten Herz-

[1] Durchschnitt von 6 Reihen.
[2] Durchschnitt von 3 Reihen.
[3] Durchschnitt von 2 Reihen.

kontraktionen die Nachwirkung nur wenig variiert, wie z. B. im folgenden Versuch vom 3. Dezember 1912.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.		
	I. 4 Reizungen in 0.08 Sek.[1]	II. 5 bis 8 Reizungen in 0.10 bis 0.20 Sek.[2]	III. 17 Reizungen in 0.42 Sek.
1	0.18	0.18	0.18
2	**0.35**	**0.54**	**0.78**
3	0.20	0.23	0.23
4	0.19	0.22	0.20
5	0.19	0.21	0.20
6	0.19	0.20	0.21
7	0.19	0.21	0.20
8	0.19	0.21	0.20
9	0.19	0.21	0.21
10	0.19	0.21	0.21

Zwischen den Reihen I und II findet sich ein deutlicher Unterschied; dagegen sind die Zahlen in der Reihe II und III, natürlich mit Ausnahme von Nr. 2, die sich auf die direkte Vaguswirkung bezieht, fast identisch.

Bei grösseren Differenzen der Reizungsdauer bzw. des Vagusstillstandes wird die Differenz in Bezug auf die Dauer der Nachwirkung immer grösser.

Die folgenden Tabellen enthalten darüber einige nähere Angaben.

Der 4. Herzschlag nach der Vagusreizung hat im Vers. vom 27. Nov. (S. 34) bei I eine Dauer von 0.22, bei II und III eine von 0.32 Sek., die Dauer des siebenten ist bzw. 0.22, 0.34 und 0.34 Sek. Am 12. Herzschlage ist aber die Dauer bei den drei Reihen bzw. 0.20, 0.24 und 0.32, und die frühere Dauer der Periode wird bei in I etwa beim 14., bei II beim 16. und bei III beim 37. Herzschlage erreicht.

[1] Durchschnitt von 4 Reihen.
[2] Durchschnitt von 7 Reihen.

Versuch vom 27. November 1912.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.		
	I. Vagusstillstand während 0.56 Sek.	II. Vagusstillstand während 1.20 Sek.	III. Vagusstillstand während 4.90 Sek.
Norm.	0.18	0.19	0.22
1	**0.56**	**1.20**	**4.90**
2	0.27	0.46	0.46
3	0.22	0.34	0.34
4	0.22	0.32	0.32
5	0.22	0.30	—
6	0.22	0.30	—
7	0.22	0.34	0.34
8	—	0 30	—
9	0.20	0.26	0.30
10	—	0.26	—
12	0.20	0.24	0.32
14	0.19	—	0.32
16	--	0.19	0.32

Versuch vom 11. Dezember 1912.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.						
	I. Reizungsdauer 0.08—0.14 Sek.	II. Reizungsdauer 0.56 Sek.	III. Reizungsdauer 0.92—0.96 Sek.	IV. Reizungsdauer 1.68 Sek.	V. Reizungsdauer 2.80—3.00 Sek.	VI. Reizungsdauer 4.40—4.80 Sek.	VII. Reizungsdauer 6 Sek.
1	0.21	0.20	0.21	0.20	0.22	0.20	0.21
2[1]	**0.73**	**1.60**	**1.96**	**2.40**	**3.39**	**5.13**	**6.36**
3	0.32	0.42	0.44	0.48	0.48	0.50	0.51
4	0.26	0.36	0.38	0.38	0.40	0.40	0.42

[1] Dauer des Stillstandes.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.						
	I. Reizungsdauer 0.08—0.14 Sek.	II. Reizungsdauer 0.56 Sek.	III. Reizungsdauer 0.92—0.96 Sek.	IV. Reizungsdauer 1.68 Sek.	V. Reizungsdauer 2.80—3.00 Sek.	VI. Reizungsdauer 4.40—4.80 Sek.	VII. Reizungsdauer 6 Sek.
5	0.27	0.34	0.36	0.36	0.37	0.37	0.38
6	0.26	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.38
7	0.25	0.32	0.32	0.34	0.36	0.29	—
8	0.25	0.30	0.32	0.30	0.34	0.27	0.22
9	0.23	0.28	0.28	0.28	0.29	0.27	0.21
10	0.21	0.24	0.28	0.26	0.27	0.25	0.21
16	—	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.20

Bei allen sieben Reihen in diesem Versuch tritt während der ersten sechs Herzschläge die kräftigere Nachwirkung einer länger dauernden Reizung des Vagus sehr deutlich zum Vorschein; so hat der 6. Herzschlag hier eine Dauer von bzw. 0.26, 0.32, 0.33, 0.34, 0.35, 0.36, 0.38 Sek. Vom 7. Herzschlage an gilt dies noch für die Reihen I bis V; bei den Reihen VI und VII fällt dagegen die Dauer der Herzperiode viel schneller als zu erwarten war auf den früheren Stand herab.

Versuch vom 20. Dezember 1912.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.							
	I. Reizungsdauer 0.06—0.24 Sek.[1]	II. Reizungsdauer 0.78—0.88 Sek.[1]	III. Reizungsdauer 1.16—1.32 Sek.[2]	IV. Reizungsdauer 1.90—2.14 Sek.[3]	V. Reizungsdauer 2.64—2.68 Sek.[3]	VI. Reizungsdauer 3.26—3.36 Sek.[3]	VII. Reizungsdauer 3.74—4.20 Sek.[1]	VIII. Reizungsdauer 4.68—5.00 Sek.[3]
1	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17
2	**0.55**	**1.12**	**1.57**	**2.28**	**2.97**	**3.59**	**4.20**	**5.09**
3	0.25	0.24	0.40	0.40	0.39	0.41	0.42	0.40

[1] Durchschnitt von 3 Reihen.
[2] Durchschnitt von 4 Reihen.
[3] Durchschnitt von 2 Reihen.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.							
	I. Reizungsdauer 0.06—0.24 Sek.[1]	II. Reizungsdauer 0.78—0.88 Sek.[1]	III. Reizungsdauer 1.16—1.32 Sek.[2]	IV. Reizungsdauer 1.90—2.14 Sek.[3]	V. Reizungsdauer 2.64—2.68 Sek.[3]	VI. Reizungsdauer 3.26—3.36 Sek.[3]	VII. Reizungsdauer 3.74—4.20 Sek.[1]	VIII. Reizungsdauer 4.68—5.00 Sek.[3]
4	0.19	0.23	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27
5	0.19	0.22	0.24	0.25	0.24	0.25	0.25	0.26
6	0.19	0.22	0.24	0.23	0.24	0.24	0.25	0.26
7	0.19	0.23	0.24	0.25	0.23	0.24	0.24	0.26
8	0.19	0.21	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24	0.29
9	0.19	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24	0.27
10	0.19	0.21	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.26

Hier finden wir noch bei dem 10. Herzschlage eine deutliche Zunahme der Periodendauer je nach der Dauer des vorhergehenden Herzstillstandes: 0.19, 0.21, 0.22, 0.22, 0.22, 0.23, 0,23, 0.26.

Wenn der Stillstand des Herzens noch wesentlich länger andauert, stellen sich noch grössere Differenzen dar, wie im folgenden Versuch, wo die Wirkung einer 3.62 bis 4 Sek. dauernden Reizung mit der einer 30 Sekunden dauernden verglichen wird.

Versuch vom 18. Dezember 1912.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.	
	I. Reizungsdauer 3.62 bis 4.0 Sek.[3]	II. Reizungsdauer 30 Sek.
1	0.18	0.18
2	**4.32**	—
3	0.43	0.56
4	0.37	0.38

[1] Durchschnitt von 3 Reihen.
[2] Durchschnitt von 4 Reihen.
[3] Durchschnitt von 2 Reihen.

Nr.	Dauer der Herzperiode; Sek.	
	I. Reizungsdauer 3.62 bis 4.0 Sek.[1]	II. Reizungsdauer 30 Sek.
5	0.34	0.36
6	0.34	0.36
7	0.30	0.36
8	0.26	0.38
9	0.24	0.38
10	0.23	0.42
12	0.22	0.40
14	0.19	0.42
16	0.19	0.36
18	—	0.36
20	—	0.34
22	—	0.30
27	—	0.24
37	—	0.22
47	—	0.22
57	—	0.22
67	—	0.21
72	—	0.19

Bei der Reihe I ist die Schlagdauer schon beim 14. Herzschlage etwa auf ihren früheren Wert herabgegangen; bei der Reihe II findet dies erst nach dem 72. Herzschlage statt.

Aus der II. Reihe des Versuches vom 18. Dezember ist ferner ersichtlich, dass die Schlagdauer nach dem Ende der Reizung nicht stetig abnimmt, denn vom 8. Herzschlage an fängt eine neue und gar nicht unbedeutende Zunahme an — 0.36 — 0.38 — 0.38 — 0.42 — 0.40 — 0.42 — 0.36 —, welche dartut, dass sich hier die Nachwirkung der Vagusreizung so zu sagen in zwei Abschnitten geltend gemacht hat.

Diese Erscheinung kommt keineswegs als ein Ausnahmefall bei dem betreffenden Versuch vor; vielmehr tritt sie in deutlich aus-

[1] Durchschnitt von 2 Reihen.

geprägter Form auch bei mehreren anderen Versuchen auf. Selbst bei sehr kurzer Dauer der Reizung kann man auf diese Erscheinung stossen, wie z. B. in folgenden Versuchen.

Versuch vom 8. Dezember 1912.

Reizungsdauer 0.22 Sek.

Herzschlag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagdauer	0.22	**0.56**	0.30	0.28	0.32	0.34	0.30	0.26	0.24	0.24

Reizungsdauer 3.00 Sek.

Herzschlag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagdauer	0.22	**3.20**	0.45	0.35	0.37	0.41	0.42	0.40	0.36	0.34

Versuch vom 13. Dezember 1912.

Reizungsdauer 0.14 Sek.

Herzschlag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagdauer	0.19	**0.52**	0.24	0.20	0.21	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20

Reizungsdauer 0.90 Sek.

Herzschlag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagdauer	0.19	**1.16**	0.36	0.26	0.30	0.34	0.34	0.27	0.24	0.23

Reizungsdauer 1.38—1.50 Sek.

Herzschlag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schlagdauer	0.20	**1.53**	0.40	0.27	0.31	0.33	0.33	0.30	0.27	0.24

Worauf diese Periodizität zurückzuführen ist, lässt sich an der Hand unseres Versuchsmaterials nicht entscheiden.

Aus leicht ersichtlichen Gründen war es uns nicht möglich. die Nachwirkung einer längeren Vagusreizung mit der bei den soeben besprochenen Versuchen benutzten Trommelgeschwindigkeit von 50 mm in der Sekunde zu untersuchen. Zu weiterer Beleuchtung der Frage benutzten wir daher Versuche, wo die Geschwindigheit nur 10 mm in der Sekunde betrug und wo wir daher eine längere Reihe von Herzschlägen verfolgen konnten.

Hierbei konnte indessen die Dauer der einzelnen Herzschläge nicht mit genügender Exaktkeit bestimmt werden, sondern wir massen statt dessen wie viele Herzschläge vor und nach dem Vagusstillstande auf je eine Sekunde entfielen.

Bei kurzer Dauer des Stillstandes bekamen wir in voller Übereinstimmung mit den schon besprochenen Erfahrungen Resultate. wie die in folgende Tabelle aufgenommenen.

Versuch vom 3. Dezember 1912.

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.				Für 4 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	Gef.	Ber.
1[1]	0.23	6.0	5.4	5.3	5.3	5.7	21.7	24.0
2[2]	0.46	5.9	4.9	5.1	5.4	5.5	20.9	23.6
3[1]	0.54	5.9	4.8	4.8	5.4	5.4	20.6	23.6
4	0.64	5.8	4.2	3.8	3.9	4.1	16.0	23.2
5	0.78	6.0	4.6	4.8	5.2	5.4	20.0	24.0

Für die 4 ersten Sekunden nach Ende des Stillstandes betrug die Pulsfrequenz in Proz. der nach der normalen Pulsfrequenz berechneten bzw. 90.4, 88.8, 87.5, 69.0 und 83.3. Die letzte Reihe bildet eine Ausnahme von der allgemeinen Regel und wäre zwischen Reihe 3 und 4 einzuschieben.

Versuch vom 13. Dezember 1912.

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.				Für 4 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	Gef.	Ber.
1	0.50	5.5	4.6	4.9	5.3	5.3	20.1	22.0
2[1]	0.79	5.6	3.9	4.1	5.4	5.1	17.9	22.4
3[3]	1.14	5.4	3.4	3.8	4.8	5.0	17.2	21.7
4	1.60	5.5	3.2	3.1	4.3	4.9	15.5	22.0
5	2.00	5.8	3.5	3.2	4.3	5.0	16.0	23.2

Hier beträgt die Pulszahl in 4 Sekunden nach der Vagusreizung bzw. 91.4, 80.0, 79.3, 75.0 und 69.0 Proz. von der nach der normalen Frequenz berechneten.

Die Wirkung eines etwas länger dauernden Stillstandes geht aus folgenden Versuchen hervor.

[1] Mittel aus 3 Reihen.
[2] Mittel aus 5 Reihen.
[3] Mittel aus 4 Reihen.

Versuch vom 8. Dezember 1912.

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.				Für 4 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	Gef.	Ber.
1[1]	0.58	4.7	3.6	3.4	4.0	4.0	15.0	18.8
2	1.44	4.6	2.7	2.8	3.1	3.6	12.2	18.4
3	2.10	4.6	2.7	2.4	2.7	3.2	11.0	18.4
4	3.24	4.3	2.6	2.5	2.7	3.3	11.1	17.2
5[1]	4.30	4.5	2.2	2.7	2.5	3.4	10.8	18.0

Die Pulsfrequenz für 4 Sekunden ist hier in Proz. der normalen Pulsfrequenz bzw. 79.8, 66.3, 60.0, 64.5 und 60.0.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, war die Pulsfrequenz während der 4. Sekunde in allen Reihen noch lange nicht die normale. Bei der 3. Reihe betrug sie während der 5. und 6. Sek. 4.0 bzw. 4.1, und bei der 5. Reihe für die 5. bis 8 Sek, bzw. 3.9, 4.0, 4.2, 4.3 pro Sekunde. Nach einem Herzstillstand von mehr als 4.30 Sek. Dauer erscheint also die frühere Pulsfrequenz erst nach der 8. Sek.

Beim Versuch vom 27. November wurde in allen sieben Reihen die Pulsfrequenz für die ersten sechs Sekunden nach Ende des Stillstandes ermittelt.

Versuch vom 27. November 1912.

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.						Pro 6 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	5. Sek.	6. Sek.	Gef.	Ber.
1	0.45	4.6	3.7	4.2	4.5	4.8	4.8	4.7	26.7	27.6
2	1.10	5.0	3.0	3.5	3.8	4.5	4.2	5.0	24.0	30.0
3[1]	1.70	5.1	2.9	2.9	3.6	4.3	4.9	4.6	23.2	30.6
4[2]	2.50	5.0	2.7	2.8	3.6	4.4	4.8	4.9	23.2	30.0
5	3.00	5.0	2.8	2.8	3.1	3.5	3.8	3.8	19.8	30.0
6[1]	3.70	5.2	2.7	2.8	3.4	4.6	4.6	4.8	22.9	31.2
7	8.60	5.0	3.0	3.1	3.0	3.6	3.1	2.9	18.7	30.0

[1] Mittel aus 2 Reihen.

[2] Mittel aus 3 Reihen.

Für die ersten sechs Sekunden nach Ende des Stillstandes ist die Pulsfrequenz bzw. 96.7, 80.0, 75.8, 77.7, 66.0, 73.4, 62.3 Proz. der normalen Pulsfrequenz in der entsprechenden Reihe. Bei der 7. Reihe betrug die Pulsfrequenz während der 7. bis 19. Sekunde nach dem Stillstand bzw. 3.1 — 3.1 — 3.1 — 3.0 — 3.1 — 3.1 — 3.6 — 3.2 — 3.8 — 4.2 — 4.7 — 4.5 — 4.8 —. Also war diese selbst nach 19 Sekunden nicht auf ihre normale Höhe zurückgekommen.

Im Versuch vom 11. Dezember 1912 gestaltete sich die Pulsfrequenz während der ersten vier Sekunden nach dem Stillstande in Proz. der normalen wie folgt:

Dauer des Stillstandes; Sek.	0.72	1.72	2·25	3.45	4.73	5.20	6.30	8.60
Pulsfrequenz für 4 Sek. in Proz. der normalen	86.5	71.4	70.9	68.4	60.0	60.0	57.1	51.5

Beim Versuch vom 20. Dezember 1912 finden wir ein ganz entsprechendes Verhalten:

Dauer der Stillstandes; Sek.	0.52	1.08	1.58	2.19	2.89	3.68	4.33	4.84	5.27	8.08	8.80
Pulsfrequenz für 4 Sek. in Proz. der normalen	88.8	79.1	78.1	77.2	73.4	72.5	71.7	66.7	65.0	58.4	56.5

Schliesslich teilen wir einen Versuch mit, wo der Stillstand 0.55 bis 20.35 Sek. lang dauerte und wo wir die Veränderungen der Pulsfrequenz nach Ende derselben noch mehrere Sekunden verfolgten.

Versuch vom 18. Dezember 1912.

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.				Pro 4 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	Gef.	Ber.
1	0.55	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	24.0	24.4
2	0.70	6.1	5.0	5.7	5.8	5.8	22.3	24.4
3	2.40	6.1	3.0	4.9	5.5	5.6	19.0	24.4
4	3.15	6.1	2.9	4.4	5.7	5.6	18.6	24.4

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Normale Frequenz pro Sek.	Frequenz nach dem Stillstand pro Sek.				Pro 4 Sek.	
			1. Sek.	2. Sek.	3. Sek.	4. Sek.	Gef.	Ber.
5	5.61	6.1	2.8	3.4	4.3	5.1	15.6	24.4
6	12.40	6.0	2.0	2.0	2.5	2.2	8.7	24.0
7	14.00	6.0	1.9	2.4	2.7	2.7	9.7	24.0
8	16.65	6.0	2.0	2.8	2.7	2.4	9.9	24.0
9	20.35	5.5	1.9	2.7	2.5	2.6	9.7	22.0

In Prozent der normalen beträgt die Pulsfrequenz während der 4 ersten Sekunden nach dem Stillstand bzw. 98.3, 91.4, 77.9, 76.2, 63.9, 36.2, 40.4, 41.2, 40.4.

Nach diesen Beobachtungen dürfte, insofern es die Veränderung der Pulsfrequenz während der vier ersten Sekunden nach dem Stillstand betrifft, diese ihr Maximum schon bei einem Stillstand von etwa 12 Sekunden Dauer erreichen, denn wir finden hier (Reihe 6) eine maximale Abnahme auf 36.2 Proz. und die folgenden Bestimmungen geben etwas höhere Prozentzahlen. Man kann daher wohl sagen, dass nach langem Vagusstillstand die als Nachwirkung auftretende Verlangsamung während der vier ersten Sekunden die normale Pulsfrequenz um rund etwa 60 Proz. herabsetzt.

Bei den Reihen, wo der Vagusstillstand 12 bis 20 Sek. lang dauerte, bestimmten wir in demselben Versuch die Pulsfrequenz pro Sekunde noch viel länger als 4 Sekunden nach Ende des Stillstandes. Die Resultate sind in folgender Tabelle (S. 43) eingetragen.

In keinem einzigen Falle hat die Pulsfrequenz hier nach 20 Sekunden den Wert vor dem Stillstande erreicht, sondern bleibt um 1 bis $1^1/_2$ Herzschlag niedriger.

Die Gesammtzahl der Pulse während der 5. bis 20. Sekunde beträgt in den betreffenden vier Reihen bzw. 62.3, 66.0, 61.1 und 56.3; die entsprechende normale Pulsfrequenz hätte für 16 Sekunden bzw. 96, 96, 96 und 88 betragen. Die gefundene Pulsfrequenz hat also nur 63.0, 66.7, 61.8 und 64.0, im Durchschitt 63.9 Proz. der normalen erreicht. Auch diese Zahlen zeigen, dass das Maximum der Nachwirkung wahrscheinlich schon nach einem Stillstand von etwa 12 Sek. Dauer erscheint.

	Dauer des Stillstandes			
	12.40 Sek.	14.00 Sek.	16.65 Sek.	20.35 Sek.
	Pulsfrequenz in 1 Sekunde			
Vor dem Stillstand . .	6.0	6.0	6.0	5.5
Nach dem Stillstand				
5	2.3	2.9	2.5	2.3
6	2.5	3.3	2.6	2.9
7	2.6	3.1	2.8	2.7
8	3.0	3.6	3.1	2.4
9	3.0	4.1	3.6	3.0
10	3.5	4.3	3.8	3.0
11	3.5	4.2	3.9	3.9
12	4.1	4.7	3.9	3.9
13	4.4	4.1	3.9	3.3
14	4.9	4.7	4.3	4.0
15	4.5	4.3	4.7	4.2
16	4.5	4.5	4.2	4.0
17	4.5	4.4	4.6	4.5
18	5.0	4.8	4.2	4.2
19	5.0	4.5	4.5	4.0
20	5.0	4.5	4.5	4.0
Summe für 16 Sek.	62.3	66.0	61.1	56.3

Dies wird durch die prozentige Berechnung der Pulsfrequenz während der letzten vier (17.—20.) Sekunden nur noch bestätigt. Wir erhalten nämlich hier eine Pulsfrequenz von bzw. 19.5, 18.2, 17.8 und 16.7 der berechneten von 24, 24, 24 und 22 gegenüber, d. h. 81.3, 76.0, 74.2, 75.9, im Durchschnitt 76.9 Proz. der letzteren.

Als Schlussergebnis unserer Messungen möchten wir also hervorheben, dass das Maximum der Nachwirkung bei Vagusreizung schon nach einem etwa 12 Sekunden dauernden Stillstand erreicht wird, sowie dass in diesem Falle die Nachwirkung noch länger als 20 Sekunden nach Ende des Stillstandes

nachweisbar ist, indem zu dieser Zeit die Pulsfrequenz nur etwa $^3/_4$ oder $^4/_5$ derjenigen vor der Vagusreizung beträgt[1].

IV.

Über die relativen Veränderungen der Dauer der Systole und Diastole bei Veränderungen der Herzperiode liegen sehr zahlreiche Bestimmungen vor, aus welchen ersichtlich ist, dass die Dauer der Systole dabei nur in einem verhältnismässig geringen Grade variiert.

Unsere hierher gehörigen Messungen können dieses längst festgestellte Ergebnis nur bestätigen. Wir gestatten uns indessen einige Zahlenangaben hierüber zur Vervollständigung des über diese Frage vorliegenden Materials hier mitzuteilen.

Nach einer flüchtigen Reizung, bzw. einem nur Bruchteile einer Sekunde dauernden Stillstande kommt öfters keine Veränderung in der Dauer der Systole zum Vorschein (Versuch vom 24 November, Reizdauer 0.06—0.28 Sek.); in anderen Versuchen kann unter den gleichen Umständen eine Verlängerung der Systole um 0.01 Sek. nachgewiesen werden (Versuch vom 3. Dezember, Reizdauer 0.08 bis 0.42 Sek.).

Wenn aber der Stillstand länger dauert, wird die Systolendauer ebensowie die Dauer der ganzen Herzperiode deutlich, in gewissen Fällen sogar beträchtlich länger.

Im Versuch vom 27. November 1912 finden wir also folgendes:

I. Dauer des Stillstandes 0.56 Sek.; normale Periode 0.18, normale Systolendauer 0.08 Sek.

Schlag nach dem Stillstand	2	3	4	5	6	7	12	14
Periodendauer	0.27	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.20	0.19
Systolendauer	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08

II. Dauer des Stillstandes 1.20 Sek.; normale Periode 0.19, normale Systolendauer 0.08 Sek.

---

[1] Aus der auf S. 12 hervorgehobenen Ursache sind diese Zahlen, ihrem absoluten Wert nach, als etwas zu klein zu bezeichnen.

Schlag nach dem Stillstand	2	3	4	5	6	7	10	12	16
Periodendauer	0.46	0.34	0.32	0.30	0.30	0.34	0.26	0.24	0.19
Systolendauer	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08

III. Dauer des Stillstandes 4.90 Sek.; normale Periode 0.22, normale Systolendauer 0.08 Sek.

Schlag nach dem Stillstand	2	3	4	6	7	12	16
Periodendauer	0.46	0.34	0.32	—	0.34	0.32	0.32
Systolendauer	0.13	0.10	0.12	0.12	0.12	0.10	0.10

Die grösste Zunahme der Systolendauer beträgt hier 0.04 Sek. (von 0.08 auf 0.12 Sek.; III. Reihe). Beim 4. Schlag dieser Reihe ist die Dauer der Periode 0.32 Sek., also 46 Proz. grösser wie die der normalen Periode (0.22 Sek.). Hier haben also die ganze Periode und die Systole um etwa gleich viel Prozent zugenommen.

Im Versuch vom 11. Dezember finden wir bei einer Reizungsdauer von 0.56 Sek. eine Zunahme der Systolendauer von 0.08 auf 0.12 bis 0.11, d. h. um 50 bis 37.5 Proz.; die entsprechenden Zahlen für die ganzen Periode sind 0.30 bzw. 0.24. Da die Dauer der normalen Periode hier 0.20 Sek. betrug, ist die Zunahme derselben 50 bzw. 20 Proz., und also im letzten Falle wesentlich kleiner als die Zunahme der Systolendauer.

In demselben Versuch steigt die Systolendauer des 6. Schlages nach einem Stillstand von 3.39 Sek. von 0.08 auf 0.13 Sek., also um 62.5 Proz., während die ganze Periode von 0.22 auf 0.35, d. h. um 59 Proz. zunimmt.

Beim Versuch vom 20. Dezember steigt die Dauer der Systole in folgender Weise an:

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Dauer der Systole; Sek.		Das Maximum erscheint bei der Kontraktion nach Ende des Stillstandes	Dauer der entsprechenden Periode	
		Normal	Maximum		Normal	Maximum
1	0.55	0.08	0.10	1	0.18	0.25
2	1.12	0.08	0.11	2	0.18	0.23
3	1.57	0.08	0.11	5	0.19	0.24
4	2.28	0.08	0.11	3	0.18	0.25

Nr.	Dauer des Stillstandes; Sek.	Dauer der Systole; Sek.		Das Maximum erscheint bei der Kontraktion nach Ende des Stillstandes	Dauer der entsprechenden Periode	
		Normal	Maximum		Normal	Maximum
5	2.97	0.09	0.12	6	0.18	0.24
6	3.59	0.08	0.12	6	0.17	0.24
7	4.20	0.08	0.12	5	0.17	0.24
8	5.09	0.08	0.13	7	0.17	0.27

Also selbst bis zu einen Stillstand von 5 Sek. Dauer nimmt die Dauer der Systole höchstens um etwa 50 bis 60 Proz. zu.

Im Versuch vom 18. Dezember, wo die Reizung bis zu 30 Sekunden lang dauerte, betrug die grösste Zunahme der Systolendauer ebenfalls nicht mehr als 0.04 bis 0.05 Sek. (Dauer der normalen Systole 0.08 Sek.), wobei die Dauer der ganzen Herzperiode von 0.18 auf 0.36, d. h. auf das doppelte anstieg.

Übrigens ist die Zeit, während welcher die betreffende Zunahme der Systole nach dem Stillstande dauert, im allgemeinen kürzer als die Zeit, während welcher die verlängerte Herzperiode nachgewesen werden kann.

Um dies zu zeigen, stellen wir unsere Versuche aus diesem Gesichtspunkte in folgender Tabelle zusammen.

Versuch	Dauer des Stillstandes; Sek.	Verlängerte Systole erscheint während Herzschläge	Verlängerte Periode erscheint während Herzschläge
24. November	0.24	nicht	1—3[1]
	0.27	nicht	1—11
	0.37	nicht	1—10[1]
	0.44	nicht	1—12[1]
27. November	0.56	4—7	1—13[1]
	1.20	1—11	1—15
	4.90	1—30	1—35[1]

[1] Die Dauer der Periode, bzw. der Systole ist am Ende des betreffenden Abschnittes noch nicht vollständig auf den früheren Wert zurückgegangen.

Versuch	Dauer des Stillstandes; Sek.	Verlängerte Systole erscheint während Herzschläge	Verlängerte Periode erscheint während Herzschläge
3. Dezember	0.35	3—5	1—25
	0.55	1—15	1—25
	0.53	1—9	1—30[1]
	0.78	1—10	1—30[1]
8. Dezember	0.56	1—11	1—25
	1.42	1—25	1—25
	3.20	1—15	1—25[1]
13. Dezember	0.52	1	1—10
	0.79	1—16	1—20[1]
	1.16	1—18	1—18
	1.53	1—10	1—18
18. Dezember	4.12	1—12[1]	1—12[1]
	4.52	1—14[1]	1—14[1]
	>30.00	1—72[1]	1—72[1]
20. Dezember	0.55	1—12	1—14
	1.12	1—16	1—18
	1.57	1—16	1—18
	2.28	1—18	1—18
	2.97	1—18	1—18
	3.59	1—18	1—16
	4.20	1—18	1—20
	5.09	1—23	1—23
11. Dezember	0.73	nicht	1—8
	1.60	2—8	1—25
	2.40	2—8	1—20
	3.39	2—9	1—11
	5.13	2—11	1—20[1]
	6.36	2—18[1]	1—21

Aus dieser Tabelle geht noch hervor, dass sich die Verlängerung der Systolendauer in der Regel um so länger bemerkbar macht, je länger der vorhergehende Stillstand gewesen ist. Bei ganz kurzem Stillstand erscheint überhaupt keine solche Zunahme.

V.

Schlussfolgerungen.

1. Wenn der Vagusstillstand nicht durch eingeschaltete Herzkontraktionen unterbrochen wird, erreicht der Blutdruck nach Ende desselben in schnellem Zuwachs eine Höhe, die bis zu einer gewissen oberen Grenze um so bedeutender ist, je länger der Stillstand gedauert hat.

2. Auch behauptet dabei der Druck um so länger einen erhöhten Stand und sinkt um so langsamer auf sein früheres Niveau herab, je länger der Stillstand gewesen ist.

3. Wenn der Herzstillstand durch interkurrente Kontraktionen unterbrochen wird, ist die Zunahme des Druckes nach der wieder eingetretenen Herztätigkeit kleiner als nach einem vollständigen Stillstand.

4. Durch Eichung des Stromvolumens in der Aorta lässt sich nachweisen, dass die vom Herzen in der Zeiteinheit herausgetriebene Blutmenge nach Ende des Vagusstillstandes eine Zeitlang grösser ist als vor demselben. Die Ursache der betreffenden Drucksteigerung liegt also wesentlich darin, dass sich während des Herzstillstandes eine grössere Blutmenge in den zentralen Venen und im Herzen selber gesammelt hat, wodurch das Herz im Stande ist, nach Ende des Stillstandes eine grössere Blutmenge als vorher herauszutreiben.

5. Nach Ende des Vagusstillstandes erscheint als Nachwirkung eine Abnahme der Pulsfrequenz, die allmählich vorübergeht und um so mehr ausgeprägt und dauernd ist, je länger der Stillstand, bis zu einer gewissen oberen Grenze, gewesen ist.

6. Die Verlängerung der Systolendauer macht sich in der Regel um so länger bemerkbar, je länger der vorhergehende Stillstand gewesen ist. Im allgemeinen ist diese Zeit kürzer als die Zeit, während welcher eine verlängerte Herzperiode auftritt.

Über spinale Gefässnervenzentren [1].

Von

Toivo Seppä.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors)

In einer vor kurzem erschienenen Arbeit haben Cathcart und Clark [2] angegeben, dass der Blutdruck beim enthaupteten Kaninchen unter dem Einfluss von stark kohlensäurehaltiger Luft (12 Proz. CO_2) stetig herabsinkt.

Die Dauer der Kohlensäureatmung ist in den von den genannten Autoren mitgeteilten Versuchsbeispielen nicht angegeben.

Vor vielen Jahren hatten indessen Luchsinger [3] wie Konow und Stenbeck [4] nachgewiesen, dass bei Kaninchen, denen das Rückenmark hoch am Halse und die Halsnerven durchschnitten waren, das Rückenmark allein für sich vermag, eine auf Gefässkontraktion beruhende Drucksteigerung auszulösen. Nach Konow und Stenbeck begann dieselbe 80 bis 130 Sekunden nach dem Anfang der Erstickung und erreichte ihr Maximum ungefähr nach 100 bis 110 Sekunden.

In voller Übereinstimmung damit fand Landergren [5], dass das vom Gehirn isolierte Rückenmark auch bei einer durch Einatmung von Kohlensäure hervorgerufenen Erstickung in derselben Weise reagiert.

Das davon abweichende Resultat der englischen Autoren konnte

---

[1] Der Redaktion am 15. Januar 1916 zugegangen.

[2] Cathcart und Clark, Journal of physiol., 49, S. 301; 1915.

[3] Luchsinger, Arch. f. d. ges. Physiol., 16, S. 524; 1876.

[4] Konow und Stenbeck, Skand. Arch. f. Physiol., 1, S. 407; 1889.

[5] Landergren, ebenda, 7, S. 6; 1897.

vielleicht davon herrühren, dass sie das Rückenmark nicht mit dem Messer durchschnitten, sondern mittelst einer Zange den ganzen Hals des Tieres zerquetschten. Auch wäre es möglich, dass die Dauer der Kohlensäureatmung bei ihren Versuchen zu kurz gewesen ist, um die verstärkte Tätigkeit der spinalen Gefässnervenzentren auszulösen.

Um diese Frage näher aufzuklären, machte ich neue Versuche am Kaninchen, bei welchen der Hals des Tieres mittelst der von C. Tigerstedt[1] angegebenen Zange zertrümmert wurde.

Da die Erstickung, wie es scheint, einen weniger schädlichen Eingriff als die Kohlensäureatmung darstellt, und ausserdem Landergren, wie schon bemerkt, bei dieser ganz dieselbe Wirkungen wie bei jener erzielt hat, wurde in meinen Versuchen nur die durch Aufhebung der künstlichen Atmung eingeleitete Erstickung als Reizmittel benutzt.

Nachdem der Hals des aetherisierten Tieres zerquetscht worden und also die Einwirkung des Kopfmarkes auf die Herz- und Gefässnerven ausgeschaltet war, wurde der Blutdruck eine Zeitlang mit dem Hg-Manometer oder dem Federmanometer registriert, dann die künstliche Atmung abgestellt und nach geeigneter Zeit wieder aufgenommen.

Meine Ergebnisse sind aus folgenden Diagrammen ersichtlich. In jedem Diagramm bezeichnet die Einheit der Abzisse eine Zeit von 40 Sek., die groben Striche an der Abzisse geben die Dauer der Erstickung an. Die dicke Linie entspricht dem Blutdruck in mm Hg, die dünne der Pulsfrequenz in 10 Sekunden.

Versuch 6. 14. Oktober 1915. Hg-Manometer (Fig. 1).

Nach der Zertrümmerung des Rückenmarkes betrug der mittlere Blutdruck 35 mm Hg und die Pulsfrequenz 39.

Die künstliche Atmung wurde 120 Sekunden lang aufgehoben. Nach einer flüchtigen, von dem Aufhören des positiven intrapulmonalen Druckes herrührenden Druckzunahme sinkt der mittlere Druck im Laufe von 60 Sekunden auf 27 mm Hg herab und fängt dann plötzlich an, zuzunehmen, so dass er sich am Ende der Erstickung auf 52 mm erhebt. Bei der nun wieder aufgenommenen künstlichen Atmung setzt sich diese Drucksteigerung ununterbrochen fort und erreicht nach weiteren 30 Sekunden ein Maximum von 100 mm Hg, von welchem er dann zuerst schnell, später sehr langsam herabsinkt,

---

[1] C. Tigerstedt, ebenda, 33, S. 53; 1914.

so dass er nach 160 Sekunden den Stand vor der Erstickung wieder erreicht.

Während der Erstickung nimmt die Pulsfrequenz auf 25 ab und erhebt sich nach Ende derselben ziemlich schnell auf 40.

Bei einer neuen, 345 Sekunden nach der ersten stattfindenden Erstickung von 135 Sekunden Dauer zeigt der Blutdruck während der Erstickung selber allerdings keine Zunahme; dass die Gefässnervenzentren des Rückenmarkes aber auch in diesem Falle erregt

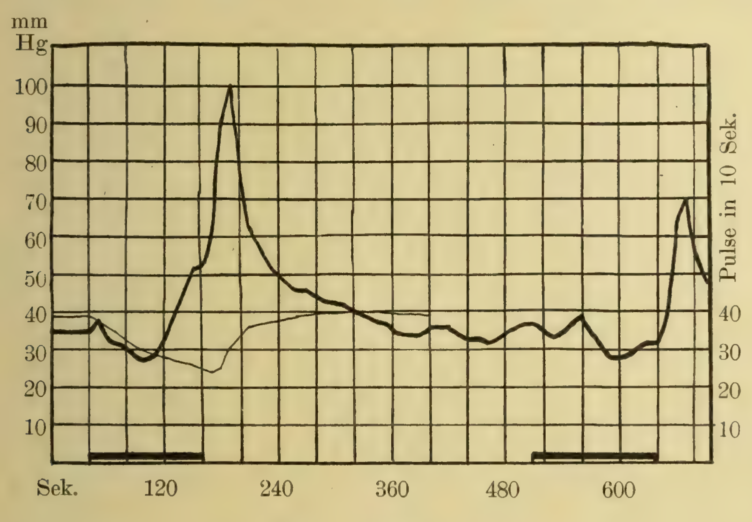


Fig. 1. Versuch 6.

worden sind, folgt ohne weiteres daraus, dass der Blutdruck nach dem Wiederbeginn der künstlichen Atmung sofort ansteigt und im Laufe von etwa 30 Sekunden eine Höhe von 70 mm Hg erreicht.

Versuch 2. 6. Oktober 1915. Hg-Manometer (Fig. 2).

Bei diesem Versuch wurde das Tier zuerst dreimal erstickt. Das erste Mal stieg der Blutdruck am Ende der 160 Sek. dauernden Erstickung von 30 auf 65 mm Hg und erhob sich 20 Sekunden nach derselben weiter auf 108 mm Hg. Zu Beginn der zweiten Erstickung war der Druck noch nicht auf den ursprünglichen Stand herabgesunken, sondern betrug immer noch 45 mm Hg. Im Verlauf der 155 Sekunden dauernden Erstickung stieg der Druck auf 58 mm und während 20 Sekunden nach derselben auf 120 mm Hg an. Der Druck sank dann, wie gewöhnlich, steil herab. Als derselbe nur noch 71 mm betrug, folgte, 50 Sekunden nach dem Ende der

zweiten Erstickung, eine dritte, durch welche sich der Druck schnell auf 90 mm Hg erhob.

Die Veränderungen der Pulsfrequenz bestehen im grossen und ganzen darin, dass diese während der Erstickung mehr oder weniger tief herabsinkt und nach derselben etwas grösser wird als vor der Erstickung.

Endlich wurde die Bauchhöhle des Tieres geöffnet und die linke Nebenniere abgebunden (Fig. 2 vor *a*). Dieser Eingriff ver-

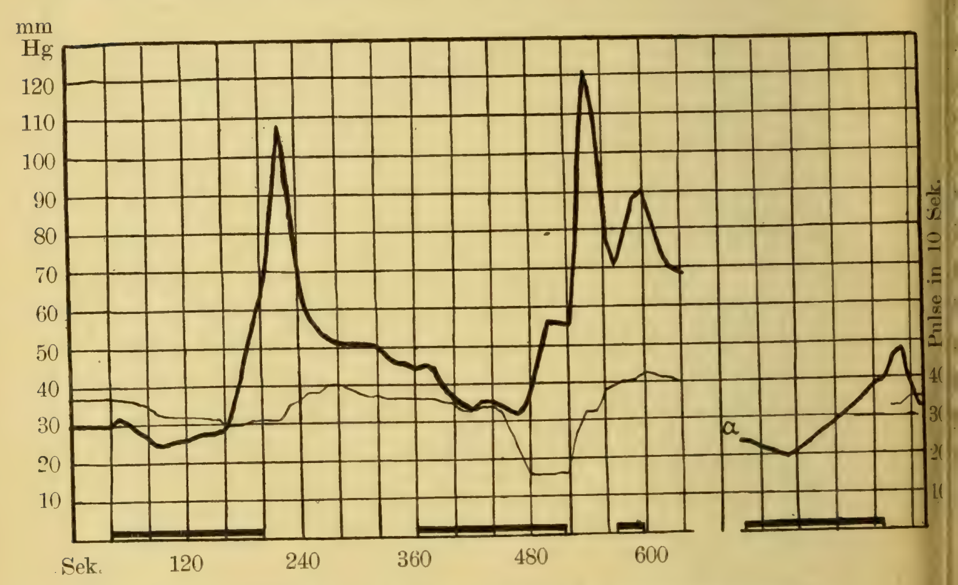


Fig. 2. Versuch 2. Vor *a* wurde die linke Nebenniere gebunden.

änderte die Ergebnisse der 150 Sek. dauernden Erstickung eigentlich nur in quantitativer Beziehung, indem der Druckanstieg allerdings wie vorher stattfand, aber die bei den drei ersten Erstickungen beobachtete Höhe bei weitem nicht erreichte; am Ende der Erstickung war nämlich der Druck von 24 auf 40 mm Hg gestiegen und erhob sich während der ersten Sekunden nach der Erstickung auf ein Maximum von nur 48 mm Hg.

V e r s u c h 8. 16. Oktober 1915. Elastisches Manometer (Fig. 3).

Vor der Erstickung betrug der mittlere Blutdruck 49 und der Pulsdruck 29 mm Hg. Während der 160 Sekunden dauernden ersten

Erstickung sank der mittlere Druck auf 39 mm und der Pulsdruck auf 18 mm Hg herab. Sofort nach Ende der Erstickung trat aber eine kräftige Drucksteigerung ein, und der mittlere Druck erreichte nach 35 Sekunden den hohen Wert von 108 mm mit einem Pulsdruck von 28 mm Hg. Dann sank der Druck zuerst schnell, dann langsam wieder herab. Die Pulsfrequenz nahm während der Erstickung ab und erhob sich nach derselben etwa auf sein früheres Niveau.

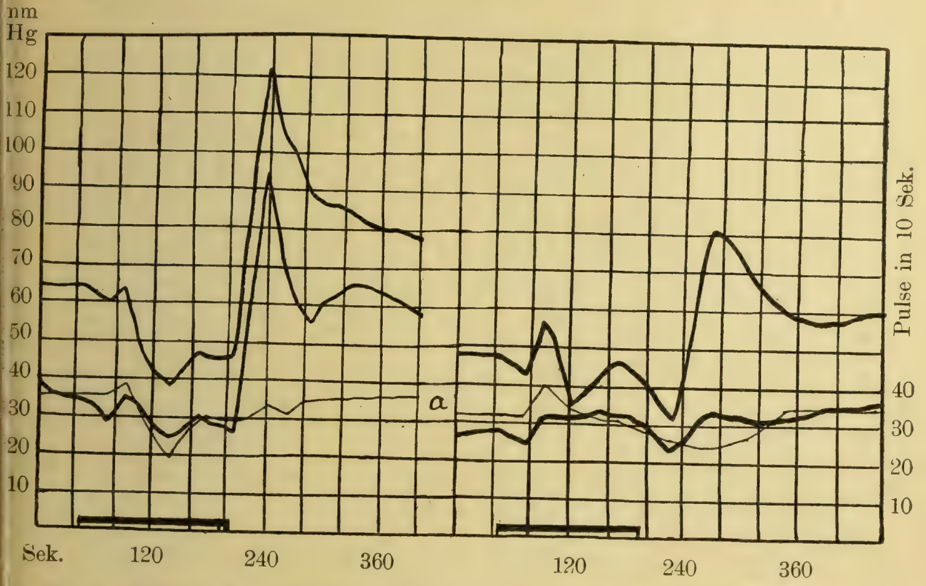


Fig. 3. Versuch 8. Die beiden starken Linien stellen das Maximum und Minimum des Druckes dar; die dünne Linie bezeichnet die Pulsfrequenz. Bei *a* wurde die Bauchhöhle geöffnet.

Um zu prüfen, welche Einwirkung das Blosslegen der Därme an und für sich auf den Verlauf der asphyktischen Erregung der spinalen Gefässnervenzentren hat — was ja für das Beurteilen der Rolle, welche die Exstirpation der Nebennieren in dieser Hinsicht spielt, eine grosse Bedeutung hat — wurde im weiteren Verlauf des Versuches die Bauchhöhle des Tieres geöffnet (bei *a*) und die Därme dem Einfluss der äusseren Luft ausgesetzt. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, wurde der Blutdruck durch die Erstickung in etwa derselben Weise wie bei geschlossener Bauchhöhle verändert; nur war der Druckanstieg jetzt wesentlich kleiner als vorher.

Versuch 4. 11. Oktober 1915. Hg-Manometer. Beide Nebennieren vollständig abgebunden (Fig. 4).

Im Beginn des Versuches betrug der Blutdruck 17 mm Hg und die Pulsfrequenz 34. Die Erstickung dauerte 130 Sekunden lang.

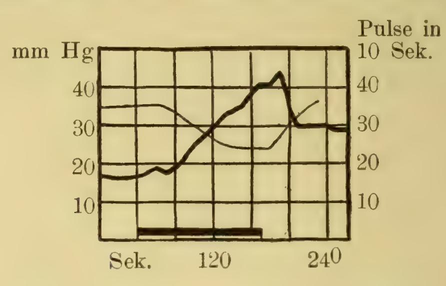


Fig. 4. Versuch 4. Beide Nebennieren abgebunden.

Am Ende denselben war der Druck auf 41 mm angestiegen und stieg bei der wiedereingeleiteten künstlichen Atmung im Laufe von 20 Sekunden noch auf 43 mm, um dann schnell auf 30 mm Hg abzunehmen.

Die Pulsfrequenz sank während der Erstickung auf 24 herab und erhob sich nach Ende derselben schnell auf ihr früheres Niveau.

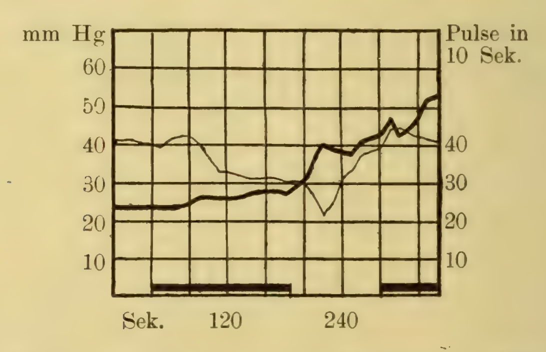


Fig. 5. Versuch 3. Die linke Nebenniere vollständig und die rechte zum grössten Teil abgebunden.

Versuch 3. 9. Oktober 1915. Hg-Manometer. Die linke Nebenniere vollständig, die rechte zum grössten Teil abgebunden.

Vor der Erstickung betrug der Blutdruck 24 mm Hg und die Pulsfrequenz 40. Während der 145 Sekunden lang dauernden Erstickung nahm der Druck langsam auf 27 mm Hg zu, erhob sich aber

nach wieder aufgenommener künstlicher Atmung innerhalb 35 Sekunden auf 40 mm Hg und stieg noch auf 43 mm an. Eine neue 60 Sekunden dauernde Erstickung brachte den Druck auf 54 mm Hg.

Die Pulsfrequenz sank während und nach der ersten Erstickung von 40 auf 22 herab, erhob sich dann und erreichte im Anfang der zweiten Erstickung ein Maximum von 44.

Meine Versuche bestätigen also, den Befunden von Cathcart und Clark gegenüber, die schon von Luchsinger, von Konow und Stenbeck wie von Landergren erzielten Resultate.

Teils während der Erstickung selber (Fig. 1 und 2), teils unmittelbar nach derselben (Fig. 3) zeigt sich beim Rückenmarkstiere eine bedeutende Zunahme des arteriellen Druckes, welche offenbar von einer starken Gefässkontraktion bedingt ist. Dass diese Drucksteigerung zuweilen erst nach Schluss der Erstickung auftritt, ist, wie schon Konow und Stenbeck ausführten, wohl dadurch verursacht, dass die Herztätigkeit von der Erstickung zu viel gelitten hat und bei der Zufuhr von arteriellem Blute wieder so zu sagen belebt wird.

Bei der Erstickung verhalten sich also die Gefässnervenzentren des Rückenmarkes in ganz derselben Weise, gleichgültig ob das Halsmark mit der Zange zertrümmert oder mit dem Messer glatt durchschnitten wird.

Bei den Versuchen von Cathcart und Clark wurde die künstliche Atmung des Tieres mit einer 12 Proz. Kohlensäure enthaltenden Luftmischung so lange unterhalten, bis 4 Liter der Mischung die Lungen passiert hatten. Die Ursache ihres negativen Befundes dürfte daher wahrscheinlich darin gesucht werden müssen, dass der Kohlensäuregehalt des Blutes in den betreffenden Versuchen zu niedrig war, um die verhältnismässig träge reagierenden spinalen Gefässnervenzentren zu erregen.

Bei der Erstickung werden bei einem Tiere mit unversehrtem zentralem Nervensystem nach v. Anrep[1] auch die Nebennieren

[1] v. Anrep, Journ. of physiol., 45, S. 320; 1912.

unter der Einwirkung der Splanchnici erregt; hier ist also die Drucksteigerung zum Teil wenigstens von der vermehrten Adrenalinmenge im Blute verursacht[1].

Dass aber auch ohne jede Beteiligung der Nebennieren eine Drucksteigerung bei der Erstickung des spinalen Tieres entsteht, geht ohne weiteres aus Versuch 4 (Fig. 4) hervor. Allerdings ist die Zunahme des Blutdruckes in diesem Falle nicht so gross wie sonst, es kommt aber hier noch in Betracht, dass bei der Abbindung der Nebennieren die Bauchhöhle eröffnet und die Därme blossgelegt werden müssen, alles Umstände, welche, wie Versuch 8 (Fig. 3) zeigt, den Umfang der asphyktischen Drucksteigerung beim enthaupteten Tiere herabsetzt.

Bei allen Versuchen, wo die Nebennieren vollständig oder teilweise abgebunden waren (Fig. 2, 4 und 5), erfolgte der Druckanstieg während oder nach der Erstickung weniger steil, als in den übrigen Versuchen. Es ist ganz gut möglich, dass dies einfach von dem Blosslegen der Gedärme bedingt ist, denn auch im Versuch 8 (Fig. 3), bei welchem die Nebennieren gar nicht berührt wurden, sondern nur die Bauchhöhle eröffnet wurde, findet die asphyktische Drucksteigerung wesentlich langsamer statt als bei der ersten Erstickung, wo die Bauchbedeckungen unversehrt waren. Und es ist ja natürlich, dass die bei der Präparation der Nebennieren stattfindende Eventeration der Gedärme eine noch grössere Einwirkung als die einfache Eröffnung der Bauchhöhle auf die Blutgefässe der Baucheingeweide ausüben muss.

Aus diesen Versuchen geht also hervor

1. dass auch nach Zertrümmern des Halsmarkes bei der Erstickung eine Gefässkontraktion auftritt; sowie

2. dass diese Kontraktion auch ohne die Beteiligung der Nebennieren stattfinden kann.

---

[1] Vgl. auch Czubalski, Zentralbl. f. Physiol,, 27, S. 580; 1913.

Über Strombahnen im zirkulierenden Blute[1].

Von

Reino Lagus.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Vor mehreren Jahren hat Sérégé[2] versucht, nachzuweisen, dass im Blute der Vena cava inferior verschiedene, voneinander ziemlich isolierte Strombahnen vorhanden sind.

Bei diesen Versuchen, welche an grossen Hunden stattfanden, injizierte er in die linke Arteria femoralis des Versuchstieres eine Lösung von Ferrozyankalium und punktierte dann mit einer ganz feinen Kanüle die Vena cava inferior an zwei entgegengesetzte Punkte ihres Querschnittes. Dabei ergab sich, dass bei dem aus der linken Hälfte der Vene entnommenen Blut eine kräftige Berlinerblaureaktion erschien, während das Blut aus der rechten Hälfte der Vene nur eine kaum merkbare Andeutung davon zeigte.

Ferner injizierte Sérégé[3] in beide Äste der Pfortader eine gefärbte Leimlösung. Vom rechten Ast aus wurde eine Färbung nur in dem rechten Lappen, vom linken nur in dem linken Lappen erzielt.

Später machte Kretz[4] entsprechende Versuche im Gebiete der Vena cava superior. Zu diesem Zwecke spritzte er beim Kaninchen in eine Ohrvene 1 bis 2 ccm Chloroform; das Tier starb innerhalb einer halben bis einer Minute und der Brustkasten wurde sofort nach dem Tode eröffnet. Dabei ergab sich, dass die beiden

---

[1] Der Redaktion am 15. Oktober 1916 zugegangen.

[2] Sérégé, Comptes rend. de la société de biologie, 1903, S. 1383.

[3] Sérégé, Comptes rend. de l'acad. des sciences, 140, S. 804; 1905; — Comptes rend. de la soc. de biol. 1907 (I), S. 501, 503.

[4] Kretz, Arch. f. pathol. Anat., 220, S. 179; 1915.

Lungen zurückgesunken waren, die vorderen und unteren Lungenränder waren zugeschärft, weich und luftarm, gleich der basalen und der Innenfläche dunkelblutrot; die hinteren oberen Abschnitte der Lungen waren voluminöser, fester und bloss durch eine deutliche, sehr intensive Randzone gegen das übrige Parenchym abgegrenzt. Die solcher Art veränderten Stellen der Lungen umfassten den grössten Teil des oberen und eventuell des mittleren Lungenlappens und die oberen hinteren Abschnitte des unteren Lappens.

Diese Erscheinung erklärt sich nach Kretz in der Weise, dass das Chloroform kleine Embolien in den Lungen hervorruft. In folge dessen entstehen Infarkte an bestimmten, vom Orte der Injektion abhängigen Stellen der Lunge. Also muss das zirkulierende Blut in den zentralen Venen in bestimmten Bahnen strömen, welche sich sogar nicht im rechten Herzen miteinander vollständig mischen.

Da sich die Versuche von Kretz nur auf das System der oberen Hohlvene bezogen, und er, wie es scheint, nicht die Absicht hatte, dieselben auch auf das System der unteren Hohlvene auszudehnen, indem er ohne weiteres annimmt, dass sich die Sache bei dieser in ganz entsprechender Weise verhält, habe ich an der Hand direkter Versuche die Richtigkeit dieser Annahme prüfen wollen.

Meine Versuche wurden an aetherisierten Kaninchen ausgeführt; als embolisierende Substanz benutzte ich nach dem Vorgang von Kretz Chloroform.

In erster Linie wiederholte ich die Versuche von Kretz. Dabei wurden 1 bis 2 ccm Chloroform in eine Ohrvene injiziert. Das Tier starb innerhalb $^1/_2$ bis 1 Minute, und bei der sofort gemachten Sektion konnte ich die Angabe von Kretz in allem wesentlichen bestätigen. Die embolisierten Stellen waren um so grösser, je mehr Chloroform angewendet worden war, und beschränkten sich hauptsächlich auf den oberen und den mittleren Lappen der Lungen.

Die Ergebnisse meiner übrigen Versuche sind in folgender Tabelle (S. 59) übersichtlich zusammengestellt.

Es wäre zu kühn, aus diesen wenigen Versuchen ganz bestimmte Folgerungen zu ziehen, denn die hier einwirkende Fehlerquellen sind ja aller Wahrscheinlichkeit nach nicht gering,

Auch stimmen nicht alle Versuche mit den entsprechenden Versuchen früherer Autoren vollständig überein.

Anderseits geht auch aus meinen Versuchen mit aller Bestimmtheit hervor, dass das aus verschiedenen Gefäss-

Versuch	Körpergewicht; g	Lage	Ort der Injektion	Menge des injizierten Chloroforms; ccm	Tod nach Sek.	Lungenbefund	Anmerkungen
III	1450	Rücken	Vena femor. dextr.	2.0	ca. 30	Das Infarkt füllt die beiden unteren Lappen und teilweise die mittleren Lappen. Die oberen Lappen sind frei. Die unteren Lappen sinken im Wasser.	
IV	1400	»	»	1.4	»		
V	1400	»	V. femor. sin.	1.4	»		
VI	1500	»	V. ileocoecalis	1.0	80	Das Infarkt füllt die ganzen unteren Lappen. Die mittleren u. oberen Lappen frei.	Die rechten Lappen der Leber sehr hart mit kleinen hellen Flecken
VII	1600	»	V. mesenterica	2.0	40	Dito.	Die ganze Leber hart mit kleinen hellen Flecken.
VIII	1100	»	Milz	0.5	90	Längs der Basis der beiden Lungen ein ca. $^1/_2$ cm breiter, scharf begrenzter Infarktstreifen. Die übrigen Lungenpartien ganz frei (Fig. 1).	Die Leber, besonders ihre linken Lappen hart, schwer und mit kleinen helleren Flecken versehen.
IX	850	»	»	1.0	420		
X	860	»	»	1.0	300		
XI	1100	»	R. Niere Ureter unterbunden	1.0	30	Die unteren Lappen u. die unteren hinteren Teile der Mittellappen vom Infarkt gefüllt.	
XII	1000	»	V. cava inf.	0.5	5	Die unteren u. mittleren Lappen vollständig vom Infarkt gefüllt.	
XIII	1800	»	V. femor. sin.	1.0	20	Wie Versuch XI.	
XIV	1700	Bauch	»	1.0	30	Die unteren Lappen mit Ausnahme der Mitte der r. Lunge vom Infarkte gefüllt (Fig. 2).	
XV	1800	Rücken	»	1.0	20	Nur die mittleren u. oberen Teile der linken Lunge bleiben frei (Fig. 3).	

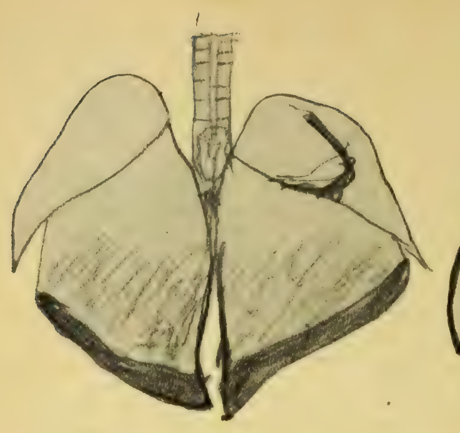


Fig. 1. Versuch VIII, IX und X. Die Lungen von hinten. In allen Figuren bezeichnen die dunklen Partien die Orte der Infarktbildung.

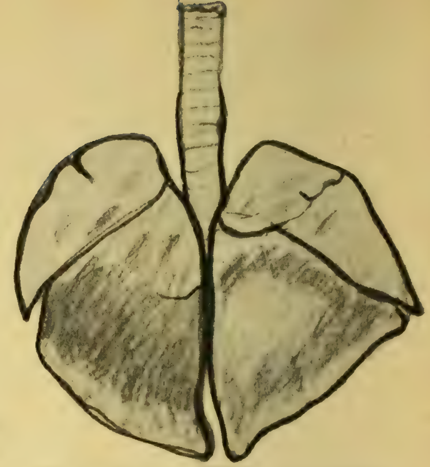


Fig. 2. Versuch XIV. Die Lungen von hinten.

provinzen kommende Blut nicht vollständig und gleichmässig in der rechten Kammer bzw. der Lungenarterie sich mischt.

Die Auffassung, dass das Blut in den grossen Venen, zum grossen Teil wenigstens, in bestimmte Strombahnen, also geradlinig strömt, findet auch aus meinen Versuchen eine gewisse Stütze.

Solcher Art würde des Blut aus dem Gebiete der Vena cava superior hauptsächlich nach den oberen und zum Teil nach den mittleren Lappen der Lungen strömen.

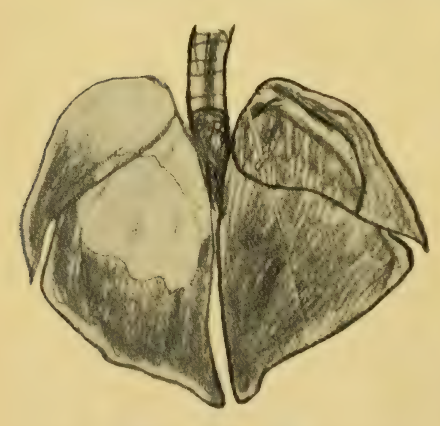


Fig. 3. Versuch XV. Die Lungen von hinten.

Das Blut aus dem Gebiete der Vena cava inferior würde dagegen die unteren und teilweise auch die mittleren Lappen der Lungen in Anspruch nehmen.

Auch ist es möglich, dass das von den verschiedenen Gebieten der Vena cava inferior kommende Blut eine gewisse Neigung hat, in bestimmten gesonderten Bahnen zu strömen.

Speziell scheint dies von der Blut der Milzvene zu gelten (vgl. Fig. 1).

Diese Tatsache lässt sich vielleicht in der Weise erklären, dass in den betreffenden Versuchen (Nr. VIII, IX, X) das Chloroform in die pulpöse Masse der Milz injiziert und dadurch der normale Blutstrom möglichst wenig gestört wurde, während das Chloroform in den anderen Versuchen direkt in eine Vene eingesprizt wurde, was ja doch nicht ganz ohne Störungen in der normalen Anordnung der Stromfäden stattfinden kann.

Beobachtungen und Versuche über den Lidschlag beim Menschen[1].

Von

H. Haahti und **T. A. Wuorinen.**

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

I. Die zwei verschiedenen Arten des Lidschlages.

Die Bewegungen der Augenlider sind mit Hinsicht auf ihrer Aufgabe und ihrer Ursache zweierlei Art.

Zu der ersten Art gehören alle solche Lidbewegungen, welche aus einer zufälligen Ursache entstehen und deren Aufgabe im Allgemeinen darin besteht, das Auge vor äusseren Schädlichkeiten zu schützen. Die dabei ausgeübte Reizung kann die Endverzweigungen verschiedener zentripetaler Nerven treffen, wie ja durch mechanische Reizung der Bindehaut und der Augenoberfläche (Trigeminus), durch plötzliche optische Eindrücke (Opticus) sowie durch sehr kräftige akustische Reize (Acusticus) ein reflektorischer Lidschluss entstehen kann.

In der Regel sind die Bewegungen dieser Art momentan oder auch stellen sie eine Reihe von schnellen Bewegungen, welche nach dem Aufhören der sensiblen Reizung aufhören, dar.

Der anderen Art von Lidbewegungen gehören solche Bewegungen, welche unter normalen Verhältnissen regelmässig in längeren oder kürzeren Intervallen auftreten und, in Gegensatz zu den Bewegungen der ersten Art, nicht durch irgendwelche besonderen äusseren Einflüsse ausgelöst werden. Die Aufgabe dieser periodisch wiederkehrenden Lidschläge besteht offenbar in erster Linie darin,

[1] Der Redaktion am 15. März 1917 zugegangen.

den regelmässigen Übergang der Tränen vom äusseren Winkel des Auges nach dem inneren zu regulieren, sowie durch wiederholtes Ausbreiten einer dünnen Tränenschicht dem Eintrocknen der äusseren Oberfläche des Auges vorzubeugen. Die Reizung, durch welche die betreffenden Bewegungen der Augenlider ausgelöst werden, steht unzweifelhaft zum Teil wenigstens mit dieser Aufgabe in nahem Zusammenhang. Ihre periodische Natur ist die einfache Folge davon, dass die erregenden Ursachen immer wieder tätig sind.

Bei den früheren Untersuchungen über den reflektorischen Lidschlag ist die Aufmerksamkeit in erster Linie entweder auf die Erforschung der Lage der hierbei beteiligten Bahnen und Zentren (Eckhard[1], Exner[2]) oder auch auf das Verhalten des einzelnen Lidschlages und damit zusammenhängende Fragen gerichtet gewesen. So haben Exner[3] und Garten[4] die Schnelligkeit des Lidschlages näher untersucht, indem sie die Reflexzeit, die Dauer des Lidschlages, den Augenblick, in welchem das obere Lid die Pupillaröffnung verdeckt, usw. bei verschiedenartiger Reizung festgestellt haben.

Die zweite Art der Lidbewegungen, d. h. die periodischen Lidschläge, ist dagegen wenig beachtet worden. Die einzigen uns bekannten, hierher gehörigen Arbeiten sind die von Lans und Gstettner.

Lans[5] plazierte vor das Auge eine feuchte Kammer, welche durch warmes Wasser erwärmt werden konnte. Beim Aufenthalt im Dunkeln nahm die Zahl der Blinzelbewegungen im allgemeinen ab. Ebenso wurde sie durch Erwärmung vermindert und durch Abkühlung erhöht; Abkühlung der Hornhaut und Belichtung der Netzhaut stellen also die Hauptursachen des Blinzelns dar. Ausserdem wird das Blinzeln durch Eintrockung der Hornhaut und der Bindehaut in einem gewissen Grade begünstigt, und schliesslich spielen auch psychische Einflüsse hierbei eine Rolle.

Gstettner[6] erwähnt nur ganz kurz, dass der Mensch normal etwa 10 bis 12 Mal in der Minute blinzelt, sowie dass diese

[1] Eckhard, Zentralbl. f. Physiol., 9, S. 353; 1895. — 12, S. 1; 1898.

[2] Exner und Paneth, Arch. f. d. ges. Physiol., 41, S. 349; 1887.

[3] Exner, ebenda, 8, S 526; 1874.

[4] Garten, ebenda, 71, S. 477; 1898.

[5] Lans, Onderzoek. ged. in het physiol. Laborat. d. Utrechtsche Hoogeschool. (5), 3, S. 306; 1902.

[6] Gstettner, Arch. f. d. ges. Physiol., 149, S. 408; 1912.

Zahl unter dem Einfluss des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft, der Aufmerksamkeit des Individuums usw. variiert.

Unsere Arbeit bezweckt in erster Linie diese periodischen Lidbewegungen, ihre Anzahl und Abhängigkeit von verschiedenen Variablen näher zu erforschen. Sie wurde auf Veranlassung von Herrn Privatdozenten Dr Carl Tigerstedt unternommen und unter seiner Leitung ausgeführt.

Bei der Untersuchung der periodisch wiederkehrenden Lidbewegungen stellte sich in erster Linie die Frage dar, ob sie nicht auch in anderer Hinsicht als der schon erwähnten von den einzeln auftretenden Lidreflexen abweichen, oder mit anderen Worten, ob die den betreffenden zwei Arten von Lidbewegungen gehörigen Lidschläge an und für sich durch irgend welche Eigentümlichkeit voneinander unterscheiden.

Wenn die zur ersten Art gehörigen Lidbewegungen tatsächlich schützende Refleze darstellen, müssen sie, um diese Aufgabe erfüllen zu können, in den meisten Fällen so schnell wie möglich ausgeführt werden. Anderseits ist es nicht unwahrscheinlich, dass diejenigen Lidbewegungen, welche nur die Ausbreitung der Tränen und das Feuchterhalten des Auges bezwecken, keine besonders grosse Geschwindigkeit beanspruchen dürfen. Es wäre daher möglich, dass die beiden Arten von Lidbewegungen in Bezug auf ihre Geschwindigkeit gewisse Unterscheide darbieten.

Es ist uns indessen nicht gelungen, an der Hand der graphischen Methode diese Frage näher aufzuklären. Wir mussten uns daher auf direkte Beobachtungen beschränken, und diese schienen tatsächlich unsere Voraussetzung zu bestätigen. So verlaufen bei einer nicht tätigen Versuchsperson die periodischen Lidbewegungen unzweideutig langsamer als die reflektorischen Schutzbewegungen. Unter anderen Umständen ist dieser Unterschied schwieriger nachzuweisen, und es ist nicht leicht zu sagen, ob die periodischen Bewegungen bei einer aufmerksam lesenden Person schneller oder langsamer als die Schutzbewegungen stattfinden, und noch weniger sicher lassen sich diejenigen minimalen Unterschiede erfassen, welche zwischen den beiden Arten von Lidbewegungen stattfinden, wenn eine noch mehr Präzision erfordernde Arbeit mit den Augen geleistet wird.

Aber selbst wenn keine Differenz hier auftreten sollte, so ist indessen die Geschwindigkeit, mit welcher der periodische Lidschlag

jetzt erfolgt, keineswegs etwas für ihn charakteristisches, denn im Gegenteil ist es sehr wahrscheinlich, dass diese Geschwindigkeit wie der Rhytmus von irgend einem sekundären Einfluss bedingt ist.

Desgleichen ist es sehr wahrscheinlich, dass die Schutzbewegungen der Lider in einem gewissen Grade von der Stärke des Reizes abhängig sind.

Als schliessliches Merkmal zwischen den beiden Arten von Lidbewegungen bleibt jedenfalls der Umfang der Schnelligkeitsvariationen in verschiedenen Fällen. Bei den periodischen Lidschlägen ist derselbe sehr gross, von sehr grossen Werten, wie sie bei ermüdeten und schläfrigen Individuen erscheinen, bis zu ganz kleinen, welche derselben Grössenordnung wie der der zufälligen Schutzbewegungen sind. Dagegen ist die Variationsbreite der Schutzbewegungen verhältnissmässig klein und die absolute Dauer derselben, welche nach Garten[1] etwa 0.3 bis 0.4 Sek. beträgt, kürzer als bei der Mehrzahl der periodischen Lidbewegungen.

Die Umstände, von welchen die Dauer der periodischen Lidbewegungen bestimmt wird, sind wesentlich psycho-physischer Art. Unter ihnen hat die Genauigkeit der zu leistenden Arbeit Wahrscheinlich die grösste Bedeutung[2].

II. Die Frequenz der Lidbewegungen und ihre Variationen.

Um diese festzustellen, registrierten wir bei kürzeren Versuchen am Kymographion zuerst die normal auftretenden Lidbewegungen und prüften dann die Einwirkung spezieller Variationen darauf. Jeder Versuch zerfiel also in zwei Hälften von je 15—30 Minuten Dauer.

Während des Versuches war das Versuchsindividuum entweder mit Lesen beschäftigt oder sass es ruhig und hörte zu, was ein anderer ihm vorlas. Im allgemeinen schloss sich die zweite Hälfte des Versuches der ersten unmittelbar an; nur wenn das Versuchsindividuum Zeichen von Ermüdung gab, wurde eine Ruheperiode von höchstens 5 Min. eingeschaltet.

Im Anfang unserer Versuche waren wir bestrebt, die Bewegungen des oberen Augenlides dadurch zu registrieren, dass wir

[1] Garten, a. a. O., 71, S. 485.

[2] Die Bedeutung dieses Faktors geht nicht selten schon aus der subjektion Wahrnehmung der eigenen Lidbewegungen hervor.

eine elektrische Kontaktvorrichtung anbrachten, welche bei der Bewegung des oberen Augenlids nach unten geschlossen wurde und dabei ein in die Leitung eingeschaltetes elektrisches Signal anregte. Bald stellte es sich indessen heraus, dass unsere Vorrichtung nicht zuverlässig war, denn der am Augenlid befestigte Apparat übte schon an und für sich auf das Augenlid eine Reizung aus, und bei den Lidbewegungen wurde noch eine Reizung durch den Schluss des Stromes ausgelöst, was leicht Extra-Lidkontraktionen hervorrufen konnte. Auch fanden wir, dass die Versuchsperson, da ja der Zweck des Apparates ihr klargelegt werden musste, dadurch in einem gewissen Grade beeinflusst wurde und infolge dessen mehr oder weniger abnorme Lidbewegungen ausführte.

Daher verwarfen wir diese Versuchsanordnung vollständig und gingen bei unseren definitiven Versuchen in der Weise zu Wege, dass der Leiter des Versuches mittelst eines elektrischen Signals die Lidschläge der Versuchsperson am Kymographion registrierte.

Damit die Versuchsperson gar keine Ahnung vom eigentlichen Versuchszwecke haben sollte — was ja die Resultate in hohem Grade hätte fälschen können, sagten wir ihr, dass wir den Puls und dessen Variationen registrierten und befestigten an der Handwurzel, bzw. an der Schläfe Apparate, welche zu diesem Zwecke dienen sollten. Um ferner die Versuchsperson davon zu verhindern, das Tun und Lassen des Versuchsleiters wahrzunehmen und daraus Schlüsse zu ziehen, plazierten wir zwischen beiden einen Schirm und ordneten die Beleuchtung in der Weise, dass die Versuchsperson im Lichte, der Versuchsleiter dagegen im Dunkeln war.

Unter Umständen benutzten wir noch folgende Versuchsanordnung. Wenn irgend welcher Eingriff die Frequenz der Lidschläge in gesetzmässiger Weise veränderte, z. B. erhöhte und also auch das Intervall zwischen zwei Lidschlägen verminderte, bestimmten wir unter Anwendung einer Uhr mit beweglicher Sekunde die Dauer dieses Intervalles vor diesem Eingriff und während desselben.

Bei Versuchen, wo es nötig war, die Wirkung der verschiedenen Eingriffe auf das Auge und dessen nächste Nähe genau zu beschränken, benutzten wir Schutzbrillen derselben Art wie die der Automobilisten, welche um das Auge herum eine kleine Menge stillstehender Luft einschlossen.

In Bezug auf diese Versuchsweise ist zu bemerken, dass das Auge sich allmählich daran gewöhnt, selbst starke Reizungen seiner

Oberfläche zu ertragen, ohne dass dabei Lidbewegungen unbedingt erscheinen. Die Versuchsperson wird dabei veranlasst zu beurteilen, wann die Empfindung in den einzelnen Versuchen verhältnismässig gleichgross ist, und die Zeit bis zu diesem Augenblick zu schätzen. Hierbei sind indessen so grosse Fehler möglich, dass die Urteile nicht immer als zuverlässig aufgefasst werden dürfen.

Auf Grund dessen fassen wir nur solche Angaben als zuverlässig auf, bei welchen die Differenz zwischen den unter verschiedenen Umständen gemachten Messungen so gross ist, dass sie keineswegs als Folge eines willkürlichen Urteils betrachtet werden können.

Als Beispiel davon, wie die Gewöhnung an einer und derselben Reizung in kurzer Zeit einwirkt, teilen wir folgende unmittelbar nacheinander gemachten Bestimmungen hier mit.

Nr. der Beobachtung	Dauer bis zum nächsten Lidschlag; Sek.	Anmerkungen
1	15	Die Reizung so kräftig. dass sie einen Lidschlag hervorrief.
2	8	D:o.
3	9	D:o.
4	8	D:o.
5	71	Die Versuchsperson begann die Reizung zu empfinden.
	190	Lidschlag.
6	124	Die Versuchsperson begann die Reizung zu empfinden.
	220	Lidschlag.
7	150	Die Versuchsperson begann die Reizung zu empfinden.
	323	Noch kein Lidschlag, obgleich Tränen reichlich strömten.

Indessen ist die Reizwirkung nicht immer so unregelmässig, und ausserdem werden die Reizungen bei verschiedenen Individuen in verschiedener Weise und verschiedenem Grade ertragen. Indi-

viduen, welche für solche Versuche ganz fremd sind, führen verhältnismässig bald, nach 5—10—15 Sekunden, regelmässige Lidschläge aus.

Auf Grund der erwähnten Unregelmässigkeit wollen wir den von uns ermittelten Zeitangaben keine andere Bedeutung erteilen, als dass sie zeigen, in welcher Richtung ein jeweiliger Eingriff die Zeit zwischen je zwei Lidschlägen beeinflusst.

Zu unseren Versuchen benutzten wir im ganzen 14 Versuchspersonen, im Alter von 13 bis 25 Jahren. Dieselben sind in den folgenden Versuchsbeispielen mit den Buchstaben A, B, C usw. bezeichnet[1].

1. Die Frequenz der periodischen Lidschläge im allgemeinen.

In erster Linie galt es zu untersuchen, ob es eine allgemeine, durchschnittliche Frequenz der Lidbewegungen gibt, und wie gross die Abweichungen von diesem Mittel, wenn kein Extra-Eingriff ausgeübt wird, in den einzelnen Fällen sind.

Als Antwort auf diese Frage teilen wir folgende Versuche, bei denen die Versuchspersonen ruhig dasassen und lautes Lesen zuhörten, hier mit (s. S. 69).

Schon aus diesen zwei Beispielen geht hervor, dass die minutliche Frequenz der Lidbewegungen, wenn sie als Durchschnitt von Beobachtungen von verhältnismässig langer Dauer berechnet wird, keineswegs als bei einer und derselben Versuchsperson konstant aufgefasst werden kann. Auch zeigten die hier mitgeteilten Beobachtungen bedeutende individuelle Differenzen, indem die Lidschlagfrequenz bei A gewöhnlich grösser, bei B aber im allgemeinen niedriger als 11 war.

Noch deutlicher geht dies aus folgenden Zahlen hervor, welche Mittelwerte aus Versuchen, wo die Versuchsperson mit Lesen be-

---

[1] A — 22-jährige Arbeiterin.
B — 22-jährige Näherin.
C — 13-jähriger Schulknabe; etwas nervös.
D — 17-jähriger Schulknabe; etwas nervös.
E — 16-jähriger Schulknabe.
F — 18-jähriger Student.
G — 20-jährige Studentin.
H — 18-jähriger Student.
I — 25-jähriger Student.
K — 16-jähriger Schulknabe.
L — 22-jährige Schreiberin.
M — 17-jähriger Schulknabe.
N — 20-jähriger Student.
O — 21-jähriger Student.

Versuchsperson A.

Nr. des Versuches	Mittlere minutliche Frequenz der Lidschläge
28	23.3
44	11.4
48	6.6
58	15.9
60	14.2
62	11.0

Versuchsperson B.

Nr. des Versuches	Mittlere minutliche Frequenz der Lidschläge
37	7.0
42	11.2
43	14.2
45	8.8
46	4.4
55	6.7
56	9.2
57	7.2
59	9.7
61	11.5
63	11.0

schäftigt war, darstellen. Wir bemerken gelegentlich, dass beim stillen Lesen die Lidschlagfrequenz im allgemein kleiner war, als wenn die Versuchsperson, ohne etwas zu tun, ruhend sass und nur zuhörte.

Versuchsperson	Nr. des Versuches	Mittlere minutliche Frequenz der Lidschläge
C	2	22.5
	3	22.1
	4	15.9
D	5	14.0
	7	29.8
	39	15.3
	40	27.0
E	6	14.4
	8	10.8
	51	11.4

Versuchsperson	Nr. des Versuches	Mittlere minutliche Frequenz der Lidschläge
F	14	23.7
	20	40.2
	23	24.5
G	13	2.5
	21	2.3
	22	3.4
	50	3.5
	52	2.9

Aus diesen Zahlen folgt, dass die eine Versuchsperson 10 Lidschläge in der Minute macht, während eine andere sogar 40 Lidschläge und eine dritte nur etwa 3 ausführt.

Dieselben grossen Schwankungen kommen aber auch bei einem und demselben Individuum in nacheinander gemachten Beobachtungen über die minutliche Frequenz der Lidschläge vor:

Versuchsperson A. Während 23 nacheinander folgender Minuten betrug die Zahl der Lidschläge: 4 — 7 — 5 — 5 — 5 — 9 — 6 — 8 — 6 — 8 — 6 — 6 — 7 — 8 — 7 — 7 — 6 — 9 — 8 — 5 — 4 — 8 — 4.

Versuchsperson B. Lidschläge während 21 nacheinander folgender Minuten: 8 — 9 — 7 — 12 — 10 — 12 — 8 — 13 — 7 — 8 — 14 — 12 — 13 — 27 — 8 — 10 — 6 — 6 — 5 — 14 — 11.

Bei der Versuchsperson A war das Minimum der Lidschlagfrequenz 4 und das Maximum 9; bei der Versuchsperson B war das Minimum 5 und das Maximum 27.

Unter solchen Umständen ist es nicht möglich, von einer normalen Frequenz der Lidschläge beim Menschen zu sprechen. Wir können nur sagen, dass dieselbe schon bei einer und derselben Person bedeutende Variationen zeigt, und dass sie beim normalen Menschen im allgemeinen zwischen 5 und 40 in der Minute schwankt.

Es ist in höchstem Grade notwendig, diese grosse Variationsbreite der normalen Lidschlagfrequenz zu beachten, wenn es gilt, die Einwirkungen verschiedener Eingriffe auf die Frequenz der Lidschläge festzustellen.

Beim ersten Anblick dieser Zahlen wäre man sogar zur Auffassung geneigt, dass es überhaupt nicht möglich wäre, irgend welche bestimmten Ergebnisse in dieser Hinsicht zu bekommen. Andererseits hält sich aber die Frequenz der Lidschläge eine Zeitlang ziemlich unverändert, und die für die einzelnen Minuten gefundenen Zahlen oszillieren daher gewöhnlich um bestimmte Mittelwerte, wie z. B. bei der Versuchsperson A: Mittel für die elf ersten Minuten 5.6 und für die zwölf letzten Minuten 5.3, und bei der Versuchsperson B: Mittel für die zehn ersten Minuten 9.6, für die 11 letzten Minuten 11.4,

Auf Grund dieser Umstände ist es also nicht unmöglich, die Einwirkung wenigstens stärkerer Eingriffe zu untersuchen, wobei natürlich bei der Verwertung der direkt gewonnenen Bestimmungen die grosse Variationsbreite der normalen Lidschlagfrequenz immer in gebührendem Masse berücksichtigt werden muss.

2. Die Einwirkung verschiedener Eingriffe auf die Frequenz der Lidschläge.

Gstettner bemerkt, dass die Lidschlagfrequenz in einem gewissen Grad durch Veränderungen der Feuchtigkeit beeinflusst wird, und Lans gibt an, dass insbesondere Abkühlung hierbei eine wesentliche Wirkung ausübt.

Die physikalisch-physiologischen Faktoren können auf dreierlei Weise ihren Einfluss entfalten, nämlich 1. unter Vermittlung der sensiblen Nerven der Augenoberfläche inkl. der Bindehaut der Augenlider; 2. unter Vermittlung der sensiblen Nerven der Gesichtshaut; 3. unter Vermittlung des Sehnerven.

Ausserdem folgt aus der alltäglichen Erfahrung, dass auch verschiedene psychische Zustände und Vorgänge leicht auf die Lidschlagfrequenz einwirken.

a. *Die Einwirkung physikalischer und physiologischer Faktoren auf die Lidschlagfrequenz.*

Unter diesen Faktoren dürfte die Feuchtigkeit und die Temperatur in erster Linie tätig sein. Ausserdem dürften auch Luftströme hierbei nicht ganz ohne Einfluss sein.

Als rein physiologische Faktoren sind verschiedene Augenstellungen und die von der jeweiligen Tätigkeit der Tränendrüsen abhängige Menge der abgesonderten Tränen zu berücksichtigen.

α. Die Temperatur.

Zum Zweck des Studiums der Einwirkung der Temperatur auf die Lidbewegungen schlossen wir die Versuchsperson in einen etwa 1 kub.-met. fassenden, elektrisch heizbaren Wärmeschrank ein. Durch eine Öffnung in der Wand konnten die Lidbewegungen beobachtet werden. Die Versuchsperson war erst bei einer Temperatur von 20° C, dann bei einer von 40 bis 50° C [1] mit stillem Lesen beschäftigt.

Die Mittelwerte von 10 Versuchen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

[1] Es war uns nicht möglich, die Temperatur des Schrankes während längerer Zeit konstant zu erhalten, weshalb sie zwischen 40 und 50° variierte.

Versuchs-Nr.	Versuchs-person	Minutliche Frequenz der Lidschläge bei	
		18—20° C	40—48° C
17	I	14.2	24.9
18	D	16.0	15.6
19	H	5.1	6.7
20	F	40.2	42.0
21	G	2.3	5.0
22	G	3.4	4.0
23	F	24.5	28.2
24	B	3.0	4.2
25	B	2.9	7.4
26	A	4.9	7.6

Die Ergebnisse dieser Versuche gehen grösstenteils in einer und derselben Richtung; mit alleiniger Ausnahme von Versuch Nr. 18 ist die Lidschlagfrequenz bei der höheren Temperatur etwas grösser als bei der niederen.

Mit diesem Resultat stimmen auch die Ergebnisse von Versuchen, wo wir die Zeit bestimmten, während welcher die Lidbewegungen vollständig unterdrückt werden können, überein. Bei diesen Versuchen benutzten wir die schon oben erwähnten Schutzbrillen, mit deren Hülfe die eingeschlossene Luft durch den elektrischen Strom auf etwa 40 bis 50° C erwärmt wurde. Die Temperatur wurde hier durch ein Thermometer direkt bestimmt.

Während der ersten Minuten, wo die Temperatur noch nicht die beabsichtigte Höhe von 45° C erreicht hatte, machte die Versuchsperson zahlreiche Lidbewegungen, damit die Oberfläche der Augen möglichst wenig gereizt werden sollte.

Bei den Versuchen selbst hielten wir immer nach jeder Bestimmung eine kleine Pause ein, um zu verhindern, dass die Reizung der Augenoberfläche allzu hoch ansteigen würde.

Die Resultate sind aus folgender Zusammenstellung ersichtlich. Die in derselben aufgenommenen Beobachtungen fanden in jeder einzelnen Versuchsreihe unmittelbar nacheinander statt.

Versuch	Intervall zwischen zwei Lidbewegungen; Sek.	
	Zimmertemperatur	40—45° C
I	15	105
	7	53
	60	32
	70	77
	9	12
	115	12
	93	45
	64	—
II	90	8
	101	8
	92	9
	99	9
	105	5
	125	8
	—	6
	—	8
	—	6
	—	8
	—	9

Versuch	Intervall zwischen zwei Lidbewegungen; Sek.	
	Zimmertemperatur	40—45° C
III	40	9
	30	10
	15	12
	96	9
	95	11
	114	7
	82	9
	100	13
IV	125	11
	25	16
	15	15
	13	10
	18[1]	15
	115	13
	85	12
	93	16
	—	18
	—	12

Im allgemeinen ist die Zeit, während welcher der Lidschlag unterdrückt werden kann, bei 40 bis 45° C wesentlich kleiner als bei Zimmertemperatur. An der Oberfläche des Auges begann im ersten Falle verhältnismässig schnell eine Empfindung sich geltend zu machen, welche innerhalb einer kurzen Zeit maximal wurde und trotz allem Widerstand eine Lidbewegung auslöste. Bei der Zimmertemperatur trat diese Empfindung in der Regel viel später auf und nahm viel langsamer an Stärke zu, so dass ein vollständig deutlicher Schlusswert nicht selten hier ausblieb.

Bei den Versuchsreihen I—III wurden die Bestimmungen bei Zimmertemperatur vor denjenigen bei 40—45° C ausgeführt. Bei

[1] Zwischen dieser Bestimmung und der folgenden war eine Pause von 10 Minuten eingeschaltet.

der Versuchsreihe IV wurde umgekehrt die Wärmeversuche zuerst gemacht.

Aus diesen, wie aus anderen ähnlichen Versuchen geht mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit hervor,

dass die Wirkung der Wärme auf die Frequenz der Lidbewegungen nicht augenblichlich verschwindet, sondern bei der niedrigeren Temperatur nur allmählich zurückgeht,

sowie, dass bei einer höheren Temperatur die Frequenz der Lidbewegungen zu- und die Zeit, während welcher die Lidbewegung willkürlich unterdrückt werden kann, abnimmt.

β. Die Feuchtigkeit.

Bei den Versuchen über den Einfluss der Feuchtigkeit auf die Lidbewegungen schlossen wir die Versuchsperson in den schon erwähnten Schrank ein und leiteten Wasserdampf von einer daneben gestellten, erhitzten Wasserflasche dorthin. Es gelang uns dabei den Feuchtigkeitsgrad unschwer auf 100 Proz. zu erhöhen. Um den Einfluss der durch den Wasserdampf sonst entstehenden Temperaturveränderung zu vermeiden, erwärmten wir vor dem Versuch den Schrank so viel, dass dessen Temperatur im ersten Abschnitt des Versuches (bei trockener Luft) etwa dieselbe war, wie im zweiten unter dem Einfluss des Wasserdampfes.

In einigen Versuchen lasen die Versuchspersonen selber, in anderen wurde ihnen vorgelesen.

Die Mittelwerte von 12 Versuchen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Versuch Nr.	Versuchs-person	Minutliche Frequenz der Lidschläge	
		bei 30—35 % Feuchtigkeit	bei 95—100 % Feuchtigkeit
27	B	19.8	5.5
28	A	23.3	16.5
29	B	9.2	8.5
30	K	6.8	5.9
31	A	7.3	6.6

Versuch Nr.	Versuchsperson	Minutliche Frequenz der Lidschläge	
		bei 30—35 % Feuchtigkeit	bei 95—100 % Feuchtigkeit
32	B	10.3	11.4
33	K	7.0	6.0
34	A	6.6	5.4
35	B	9.4	7.1
36	A	7.0	6.6
37	B	10.6	6.5
38	A	5.0	3.0

Die Frequenz der Lidschläge ist, mit alleiniger Ausnahme des Versuches 32, welche aller Wahrscheinlichkeit nach von irgendwelcher Zufälligkeit bedingt gewesen ist, *in feuchter Luft immer kleiner als in trockener.*

Noch deutlicher als bei diesen Versuchen geht die Wirkung der Feuchtigkeit aus denjenigen Versuchen hervor, wo unter Anwendung der Schutzbrillen die Zeit ermittelt wurde, während welcher die Lidbewegung gehemmt werden konnte, wenn die Luft durch nasse, innerhalb der Brillen plazierte Schwämme feucht gemacht wurde.

Die Resultate waren folgende.

Versuch	Dauer der Hemmung des Lidschlages; Sek.	
	Zimmerluft, bzw. trockene Luft	bei 100 Proz. Feuchtigkeit
V	15	138*
	11	611
	8	129*
	85	900
	90	362*
	107	754
	130	684
VI	117	498
	90	550
	102	1094
	150	910

Die Differenzen sind sehr gross. In den meisten Fällen erschienen bei 100 Proz. Luftfeuchtigkeit gar keine solche Empfindungen, die eine Lidbewegung notwendig gemacht hätten, und in der Tat stellen die in der letzten Tabelle angegebenen Zeitwerte nur den Ausdruck davon dar, dass wir nach dieser Zeit unsere Beobachtung abgeschlossen haben.

Nur in drei Versuchen (die mit einem Sternchen ausgezeichneten) ist eine deutlich charakterisierte Empfindung von der Versuchsperson angegeben worden.

Da es sich nicht bestimmt ausschliessen liess, dass die sensiblen Bindehautnerven der Versuchsperson wegen der wiederholten Versuche und der dadurch erworbenen Gewöhnung nicht so empfindlich wie sonst waren, wiederholten wir die Versuche an einer neuen Versuchsperson, die von dem Zweck der Untersuchung keine Vorstellung hatte. Auch forderten wir sie nicht dazu auf, möglichst lange die Lidbewegungen zu unterdrücken, sondern nur nach einer Lidbewegung Acht zu geben, bis die folgende sich einstellte.

Wir erwarteten nämlich, dass die Versuchsperson, da sie vom Versuchszwecke völlig in Unwissenheit war, ihre Lidbewegungen schon im Anschluss an eine viel schwächere und unmerklichere Empfindung als wir selber ausführen sollte.

Dauer zwischen zwei nacheinander folgenden Lidschlägen; Sek.	
Zimmerluft	bei 100 Proz. Feuchtigkeit
7	7
8	10
7	11
7	10
—	12
6	17
7.5	12
6	14
5	15

Am meisten auffällig sind hier die kleinen Zahlen bei 100 prozentiger Luftfeuchtigkeit. Unabhängig davon tritt aber jedenfalls die grosse Einwirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Lidschlagfrequenz sehr deutlich zum Vorschein, indem auch hier die Pause zwischen zwei Lidschlägen bei feuchter Luft wesentlich länger als bei trockener ist.

Die Frequenz der Lidschläge wird also durch grössere Luftfeuchtigkeit vermindert.

γ. Die Luftströme.

Um die Einwirkung der bewegten Luft zu untersuchen, plazierten wir in 3 Meter Entfernung von der lesenden Versuchsperson einen elektrisch getriebenen Ventilator und richteten den Luftstrom gerade gegen ihr Gesicht.

Die Resultate einiger solcher Versuche waren folgende,

Versuch	Versuchs-individuum	Mittlere minutliche Frequenz der Lidschläge bei	
		ruhender Luft	strömender Luft
1	D	18.3	20.4
2	C	12.1	20.3
3	C	22.1	30.3
4	C	15.2	21.7
5	D	14.0	18.7
6	E	14.4	30.0
67	B	18.7	58.6[1]

Entsprechende Versuche über die Zeit, während welcher der Lidschlag unterdrückt werden kann, ergaben ein ganz unerwartetes Resultat: es zeigte sich nämlich, dass diese Zeit durch einen stärkeren Luftstrom in bedeutendem Grade verlängert wird, indem dieser die Empfindlichkeit der Augenoberfläche so stark herabsetzt, dass die Hornhaut schliesslich ganz trocken sein kann, ohne dass die Versuchsperson irgend welche

[1] In diesem Versuch wurde vorgelesen.

Störungen vom Auge empfindet. Erst wenn die Augen nach Ende des Versuches geschlossen werden, wird oft ein brennender Schmerz darin empfunden. Selbst wenn der Luftstrom 15 Minuten lang direkt gegen die Augen gerichtet gewesen ist, ruft er nicht immer eine deutliche Tränensekretion hervor, und nur selten kommt es vor, dass die Augen im Verlaufe des Versuches oder sogleich nach dem Ende desselben nass sind.

Versuch	Dauer der Hemmung des Lidschlages; Sek.	
	a Normal	b Luftstrom (gleich nach a)
VII	170	6
	134	5
	150	583[1]
	123	510[1]
VIII	85	15
	119	10
	115	103
	156	455[1]

Versuch	Dauer der Hemmung des Lidschlages; Sek.	
	a Normal	b Luftstrom (gleich nach a)
IX	95	420[1]
	121	900[1]
	109	—
	132	—
	241	—
X	97	420[1]
	145	480[1]
	137	—
	133	—

Auf Grund der in zwei Versuchen anfangs erhaltenen sehr kleinen Zahlen liegt die Annahme ziemlich nahe, dass hier, in Übereinstimmung mit dem Befund bei den entsprechenden Versuchen über die Frequenz der Lidschläge, die Zeit der willkürlichen Hemmung durch den Luftstrom verkürzt werden sollte, sowie dass gleichzeitig irgend welche Wirkung vorliegt, dank welcher eine Gewöhnung daran eintritt, wodurch das Intervall verlängert wird.

Wir glauben indessen nicht, dass die grosse Frequenz der Lidschläge, welche wir bei bewegter Luft regelmässig beobachteten, von einem spezifischen Einfluss des Luftstromes herrührt, sondern vielmer ihre wesentliche Ursache in kleinen, von der Luft hervorgerufenen Bewegungen der Augenhaare hat.

Zu diesem Schluss sind wir durch folgende zwei Tatsachen gelangt.

---

[1] Der Versuch wurde unterbrochen.

Erstens kann man bei Vermeiden der Lidbewegungen beobachten, dass der Luftstrom, obgleich durch ihn keinerlei Empfindung von der Augenoberfläche her ausgelöst wird, gerade wegen der von ihm hervorgerufenen Bewegungen der Augenhaare kleine Zuckungen in den Augenlidern erzeugt. Diese rufen ihrerseits sehr leicht Lidbewegungen hervor, ohne dass die Augenoberfläche an und für sich gereizt worden ist.

Zweitens wird die Frequenz der Lidschläge in bewegter Luft durch Kokainisierung des Auges gar nicht vermindert. Bei einem zu diesem Zwecke vorgenommenen Versuch betrug die Lidschlagfrequenz bei bewegter Luft normal 58.6 und nach Kokainisierung 56.7 in der Minute (Vorlesen).

Um den Einfluss der Gewöhnung auch bei Versuchen über die Einwirkung der Luftströme auf die Lidbewegungen auszuschliessen, machten wir entsprechende Versuche an Individuen, welche mit solchen Versuchen gar nicht vertraut waren.

Die Resultate sind folgende.

Versuch	Die Dauer der Lidhemmung; Sek.	
	Normal	bei bewegter Luft
XI	50	4
	31	7
	77	10
	41	17
	33	7
	—	4
	—	7
XII	59	4.5
	32	5
	12	5
	27	6

Diese Resultate sind den früher zusammengestellten gerade entgegengesetzt. Die grossen Zahlen für die Dauer der Lidhemmung, die wir selber bekamen, müssen also grösstenteils auf die Einwirkung der Gewöhnung bezogen werden. Aber auch bei den letzten Ver-

suchspersonen traten die Bewegungen der Augenhaare so deutlich hervor, dass wir keine Veranlassung haben. daran zu zweifeln, dass auch hier die Frequenz der Lidschläge in erster Linie von der hierdurch verursachten Reizung herrührte.

Die Einwirkung der bewegten Luft auf die Lidbewegungen ist also zweierlei Art: 1. die Frequenz der Lidbewegungen wird dadurch in bedeutendem Grade erhöht, was zum grossen Teil von kleinen Bewegungen der Augenhaare hervorgerufen wird;

2. die Erregbarkeit der Augenoberfläche wird stark herabgesetzt und dadurch die Frequenz der Lidbewegungen vermindert.

δ. Die Augenstellungen.

Um die Einwirkung der Augenstellungen zu untersuchen, liessen wir die Versuchsperson in der einen Hälfte eines Versuches bei etwas gesenkter oder horizontaler Blickrichtung, in der zweiten Hälfte mit erhöhter Blickrichtung lesen. Hierbei trat indessen der Übelstand auf, dass die Blickrichtung beim allmählich stattfindenden Übergang von der obersten Zeile zu der untersten sich ununterbrochen veränderte, sowie dass bei einem schief stehenden Buchbrett die oberen Zeilen von den Augen weiter entfernt waren als die unteren.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, machten wir entsprechende Versuche auch in der Weise, dass der Versuchsperson etwas vorgelesen wurde.

Die Resultate sind folgende.

Versuch	Nr.	Minutliche Frequenz der Lidbewegungen	
		Die Augen nach unten gerichtet	Die Augen nach oben gerichtet
I. Die Versuchsperson liest selber	47	29.3	3.2
	39	15.3	7.7
	40	27.0	18.4
	41	8.3	8.3
II. Der Versuchsperson wird vorgelesen	43	14.2	11.6
	44	11.4	14.3
	45	8.8	10.2
	46	4.4	11.0
	48	6.6	8.0

Bei der ersten Versuchsreihe treten in Folge verschiedener Blickrichtungen keine regelmässigen Veränderungen der Lidschlagfrequenz auf. In der zweiten Reihe ist dagegen die Frequenz im Allgemeinen grösser bei erhobenem Blickplan.

Diese Differenz lässt sich vielleicht daraus erklären, dass hier die Einwirkung zweier in entgegengesetzter Richtung tätiger Einflüsse vorliegt. Einerseits dürfte das Streben der Versuchsperson die Augen in einer abnormen Lage zu halten, wegen der darauf gerichteten Aufmerksamkeit, an und für sich geeignet sein, die Frequenz der Lidbewegungen zu vermindern. Andererseits ermüdet die abnorme Blickrichtung das Auge und dessen Muskeln; die Versuchsperson schaltet daher kleine Intervalle ein, während welcher ihre Aufmerksamkeit nicht im vollem Masse auf die Augenmuskeln gerichtet ist, und dann kommt es leicht zu einem Lidschlag.

Zur Vermehrung der Lidschläge trägt ferner vielleicht auch der Umstand bei, dass bei der Blickrichtung nach oben die Augenoberfläche in einem grösseren Umfang als sonst unbedeckt ist und ihre Nerven daher mehr als sonst der Reizung ausgesetzt werden.

Das endliche Resultat ist dann davon abhängig, welcher dieser Faktoren kräftiger ist.

Nicht selten kann man bei solchen Versuchen nachweisen, dass diese Faktoren in entgegengesetzter Richtung variieren, und dass auf Grund dessen die Frequenz der Lidschläge periodisch ab- und zunimmt.

Betreffend die Einwirkung der Augenstellung auf des Vermögen, die Lidbewegungen zu unterdrücken, haben wir keine bestimmten Resultate erzielt.

ε. Die Tränen.

Die Wirkung einer grösseren Flüssigkeitsmenge im Konjunktivalsack lässt sich durch Einträufeln einer Kochsalzlösung von demselben Kochsalzgehalt und derselben Temperatur wie bei den Tränen feststellen. Nach einem solchen Einträufeln erscheint immer eine Reihe von frequenten Lidbewegungen. Diese Zunahme kann indessen von der Versuchsperson unschwer unterdrückt werden und stellt also keine Folge einer stärkeren Reizung der Augenoberfläche dar. Nichtsdestoweniger ist sie, besonders bei ungewohnten Individuen, eine regelmässig hervortretende Erscheinung.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass auch die kräftigere Leistung der Tränendrüsen und die daraus herrührende grössere Tränenmenge in ganz derselben Weise die Lidschlagfrequenz beeinflussen. Auch ist es wahrscheinlich, dass die Einwirkung von mehreren äusseren Faktoren auf die Lidschlagfrequenz zum grossen Teil von einer vermehrten Tränenabsonderung herrührt, insbesondere wenn die Augen nicht daran gewohnt sind, diese Einwirkungen speziell zu berücksichtigen.

ζ. Optische Einwirkungen.

Da es sehr wahrscheinlich ist, dass das Auge die kurze Zeit des Lidschlages zum Ausruhen der Netzhaut benutzt, kann man von vornherein erwarten, dass die Lidschlagfrequenz auch vom Zustand der Netzhaut und von der Lichtstärke abhängig ist.

Bei unseren Versuchen in dieser Richtung liessen wir die Versuchsperson während des ersten Abschnittes des Versuches bei gewöhnlicher, im zweitem bei sehr starker Beleuchtung lesen. In den Versuchen, wo vorgelesen wurde, blickte die Versuchsperson zuerst gegen einen dunklen Schirm, dann gegen eine sehr helle Flamme.

Aus diesen Versuchen kann keine bestimmte Folgerung gezogen werden, denn die Lidschlagfrequenz ist unter dem Einfluss der starken Beleuchtung bei einigen Versuchen unverändert, bei anderen grösser und bei wieder anderen kleiner als bei der gewöhnlichen gewesen.

I. Versuche beim Lesen.

Versuchs-Nr.	Versuchs-person	Minutliche Frequenz der Lidbewegungen	
		Schwache Beleuchtung	Starke Beleuchtung
49	G	36.8 >	34.3
50	D	3.5 =	3.5
51	E	11.4 <	12.4
52	G	2.9 =	3.0
53	M	12.2 >	7.7
54	H	3.8 <	4.2
55	B	7.4 >	6.8

II. Versuche beim Vorlesen.

Versuchs-Nr.	Versuchsperson	Minutliche Frequenz der Lidbewegungen	
		Schwache Beleuchtung	Starke Beleuchtung
56	B	6.3 <	9.2
57	B	8.2 >	7.2
58	A	20.0 >	15.9
59	D	9.7 <	13.2
60	A	14.2 >	11.7
61	D	11.5 >	9.9
62	A	11.0 <	16.0

Diejenigen Versuche, wo wir die Zeit bestimmten während welcher die Lidbewegung unterdrückt werden konnte, ergaben keine Differenz zwischen der gewöhnlichen und der starken Beleuchtung, Nur dann, wenn die Beleuchtung rein blendend war, war diese Zeit deutlich kürzer; dasselbe traf übrigens auch bei gewöhnlicher Beleuchtung im Vergleich mit dem Verhalten des dunkeladaptierten Auges ein.

An zwei ungewohnten Individuen bekamen wir folgende Resultate bei gewöhnlicher Beleuchtung und bei einer blendenden (der von der Sonne belichteten Schneedecke).

Versuch	Dauer der Hemmung des Lidschlages; Sek.	
	Gewöhnliche Beleuchtung	Blendende Beleuchtung
XIII	8.0	3.5
	6.5	3.5
	6.5	2.5
	13.0	3.0
	8.0	4.0
	7.5	3.5
XIV	10	4
	17	3
	14	4
	16	6

Also übt nur eine sehr starke Beleuchtung einen deutlich hervortretenden Einfluss auf die Lidbewegungen aus.

η. Besprechung der Versuche.

Betreffend die Wirkungen der einzelnen von uns untersuchten Variabeln möchten wir noch etwas über ihre allgemeine Wirkungsweise ausführen.

Bei den optischen Reizen ist die Sache ganz deutlich. Wenn überhaupt die Frequenz der Lidbewegungen dabei verändert wird, so beruht dies ausschliesslich auf die verschieden starke Reizung des Opticus.

Bei den übrigen Reizungen werden die Nerven der Augenoberfläche und der Bindehaut primär gereizt.

Die hierbei tätigen Faktoren vermögen indessen auch in einer ganz anderen Weise die Zahl der Lidbewegungen zu erhöhen oder erniedrigen. So üben Luftströme wegen der durch sie hervorgerufenen Bewegungen der Augenhaare einen grossen Einfluss in dieser Hinsicht aus; eine hohe Temperatur erhöht die Lidschlagfrequenz auch durch die dabei entstehende allgemeine unangenehme Wärmeempfindung, und bei vermehrter Feuchtigkeit trägt die oft erscheinende Unruhe der Versuchsperson zur Zunahme der Frequenz der Lidbewegungen bei.

Alle diese Variabeln, Wärme, Feuchtigkeit und Luftströme, sind Faktoren, welche die Abgabe des Wasserdampfes von dem Konjunktivalsack in der einen oder anderen Richtung beeinflussen. Sie wirken in erster Linie auf die an der Oberfläche des Auges befindliche Tränenschicht, indem sie die Verdunstung derselben entweder begünstigen oder verhindern. Diese Veränderung der Tränenschicht muss nun ihrerseits die zentripetalen Nerven der Hornhaut erregen können, und bei dieser Erregung würde die Frequenz der Lidbewegungen reflektorisch in der Richtung einwirken, dass der normale Zustand der Augenoberfläche erhalten wird.

In Übereinstimmung damit steht nun, dass hohe Temperatur und Luftströmungen, welche die Verdunstung der Tränen begünstigen, die Frequenz der Lidbewegungen erhöhen, während vermehrte Feuchtigkeit, welche die Verdunstung verhindert oder aufhebt, sie herabsetzt.

Damit stimmt auch die Erfahrung überein, dass die Zeit, während welcher die Lidbewegung unterdrückt werden kann, sehr oft und insbesondere in Fällen, wo diese Zeit schon an und für sich verhältnismässig kurz ist und die Reizung deutlich und schnell einwirkt, ein wenig verlängert wird, wenn die Augen voller Thränen sind [1]. Die Verdunstung muss nämlich hier länger einwirken, bevor die Hornhautnerven erregt werden.

Es gibt indessen Umstände, welche gegen eine solche einheitliche Auffassung sprechen und ihrerseits dartun, dass die einzelnen Faktoren auch auf Grund ihrer eigenen Art die Augen beeinflussen. Obgleich ein starker Luftstrom geeignet ist, die Verdunstung in hohem Grade zu begünstigen, übt er indessen bei gewohnten Augen seine Wirkung nicht dadurch, sondern unter Vermittlung der Bewegungen der Augenhaare aus. Eine Temperatur von 43 bis 45° C ruft innerhalb einer sehr kurzen Zeit eine starke Reizung hervor, obgleich sie in einem viel geringeren Grade als ein starker Luftstrom die Verdunstung begünstigt.

Unabhängig davon ist es indessen klar, dass die Frequenz der Lidbewegungen unter dem Einfluss der von uns untersuchten Bedingungen immer in der Richtung verändert wird, dass durch die Lidschläge derjenige Grad von Feuchtigkeit an der Oberfläche des Auges unterhalten wird, bei welchem die Erregung der sensiblen Hornhautnerven am geringsten ist.

III. Psychische Faktoren.

Ohne irgend welche besonderen Versuche lässt es sich leicht wahrnehmen, dass die Lidbewegungen und ihre Frequenz von geistigen Zuständen in hohem Grade abhängig sind.

Die Einflüsse dieser Art sind überaus zahlreich; jede einzelne psychische Erregung kann auf die Lidbewegungen einwirken, obgleich es mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist, solche Versuchsanordnungen zu treffen, dass ein bestimmter geistiger Zustand während des ganzen Versuches herrscht, und eine Versuchsweise, wie die von uns in den schon mitgeteilten Versuchen benutzte,

[1] Unter Voraussetzung dass die Versuchsperson an solchen Versuchen etwas gewöhnt ist und daher nicht schon wegen der grossen Tränenmenge blinzelt.

würde offenbar nur in einzelnen Fällen sichere Resultate ergeben können.

Bei der Untersuchung über den Einfluss psychischer Einwirkungen auf den Lidschlag muss man in erster Linie die Dauer derselben berücksichtigen, einen Umstand, den wir bei den schon besprochenen Versuchen gänzlich ausschliessen konnten.

Eine ganz kurze psychische Erregung wirkt hauptsächlich nur auf die Folge der Lidbewegungen, so dass sie fast nie in einem bestimmten Rhytmus, sondern sehr unregelmässig auftreten. Auf die Frequenz der während einer längeren Zeit auftretenden Lidbewegungen hat eine einzelne psychische Erregung gar keinen Einfluss. Wenn man z. B. eine mit stillem Lesen beschäftigte Person beobachtet, so findet man, dass sie am Ende der Stücke, der Sätze und unbesondere der Seiten ziemlich regelmässig blinzelt. Die hierbei auftretende kurzdauernde Ruhe des Gehirns dürfte hier zu der Lidbewegung führen. Eine kleine Zunahme der Aufmerksamkeit veranlässt dagegen nicht selten eine deutlich merkbare Hemmung der Lidbewegung.

Länger dauernde psychische Einwirkungen üben dagegen oft eine bedeutende Wirkung auf die Frequenz der Lidbewegungen aus. Hierbei ist die Abhängigkeit derselben von dem Temperament und allgemeinen Geisteszustand der Versuchsperson zu berücksichtigen

Die grossen Unterschiede, welche bei verschiedenen Individuen in Bezug auf die Frequenz der Lidbewegungen vorkommen, sind aller Wahrscheinlichkeit nach von diesen beiden Umständen abhängig. Ins besondere scheint der allgemeine Zustand hierbei eine grosse Rolle zu spielen. So blinzelt ein scheuer und empfindlicher Mensch regelmässig öfter als ein Mensch von einem ruhigen und besonnenen Charakter.

Unter den auf die Frequenz der Lidbewegungen wirkenden psychischen Faktoren ist die geistige Arbeit und die dabei erforderliche Aufmerksamkeit insbesondere wichtig. Um diesen Umstand näher zu erforschen, machten wir Versuche, wo zuerst der Versuchsperson vorgelesen wurde und dann die Versuchsperson selber las.

Als Beispiel solcher Versuche seien die folgenden hier mitgeteilt.

Versuch Nr.	Versuchsperson	Minutliche Frequenz der Lidbewegungen	
		beim Zuhören	bei stillem Lesen
15	B	6.7	2.1
16	A	14.2	4.9

Auch wenn die Versuchsperson still oder laut liest, tritt dieselbe Differenz auf:

Versuch Nr.	Versuchsperson	Minutliche Frequenz der Lidbewegungen	
		bei stillem Lesen	bei lautem Lesen
7	D	28.8	15.0
8	E	10.8	6.2
9	D	24.0	7.8
10	M	5.4	3.1
11	G	3.4	2.5
14	F	23.7	16.1
68	A	5.2	7.4
69	B	3.7	5.6

In den meisten Versuchen nimmt die Frequenz der Lidbewegungen beim lauten Lesen ab. In zwei Versuchen (68, 69) zeigt sich aber statt dessen eine Zunahme. Diese Differenz dürfte, unserer Meinung nach, auf die verschiedene Art zu lesen zurückzuführen sein.

Noch deutlicher ist der Einfluss bei einer Arbeit, die eine etwas grössere Anfmerksamkeit erfordert. Wenn wir z. B. die Lidbewegungen bei unseren Versuchspersonen registrierten, stellten sich solche bei uns selber nur sehr selten ein, insbesondere wenn die Frequenz der Lidbewegungen bei der Versuchsperson gross war und eine gespannte Aufmerksamkeit von unserer Seite erforderte.

Um diese starke Einwirkung auf die Frequenz der Lidbewegungen auszuüben, braucht die Aufmerksamkeit nicht auf die Ge-

sichtsvorstellungen an und für sich gerichtet zu sein, denn auch bei der Arbeit mit anderen Sinnesorganen treten diese Veränderungen deutlich zum Vorschein. Wenn z. B. eine Person sehr gespannt auf irgend etwas lauscht, blinzelt sie nur selten. Desgleichen nimmt die Frequenz der Lidbewegungen in hohem Grade ab, wenn wir die Versuchsperson auffordern, ohne Hilfe der Augen mit dem Tastsinn einen beliebigen Gegenstand zu untersuchen.

Die gespannte Aufmerksamkeit, welcher Art sie auch sei und an welchem Sinn sie gebunden ist, ruft daher eine Abnahme der Frequenz der Lidbewegungen hervor.

Die psychischen Einflüsse haben also auf die Lidbewegungen eine zweifache Wirkung, indem sie bei längerer Dauer die Frequenz derselben steigern oder herabsetzen und bei kurzer Dauer vor allem Störungen ihres Rhytmus hervorgerufen.

Kurz zusammengefasst haben unsere Versuche also ergeben:

1. Die Zahl der Lidbewegungen ist sehr variiernd. Ein gesunder Mensch kann 5 bis 40 Mal in der Minute blinzeln, ohne dass diese Verschiedenheit auf bestimmte Einflüsse zurückgeführt werden kann.

2. Auch bei einer und derselben Person schwankt die Frequenz der Lidbewegungen unter normalen Umständen sehr beträchlich, jedoch im allgemeinen innerhalb engerer Grenzen als bei verschiedenen Individuen.

3. Die Frequenz der Lidbewegungen ist ausserdem von mehreren bestimmt festgestellten Einflüssen abhängig.

Hierher gehören:

a. Physikalisch-physiologische Einflüsse. Diese rufen vor allem durch den N. opticus und die sensiblen Nerven der Oberfläche der Hornhaut und der Bindehaut reflektorische Lidbewegungen hervor, und dabei steigt die Frequenz derselben im allgemeinen an; bei vermehrter Feuchtigkeit nimmt sie indessen ab. Die wich-

tigsten unter diesen Einflüssen sind Luftströme, Feuchtigkeit und Temperatur; in zweiter Linie kommen Licht und Augenstellung.

b, Psycho-physische Einflüsse. Diese sind wahrscheinlich mannigfaltiger Art und können die Frequenz der Lidbewegungen vermehren oder vermindern. Auch wird unter ihrem Einfluss der Rhytmus dieser Bewegungen gestört.

Unter den von uns näher untersuchten psychischen Einflüssen steht die Aufmerksamkeit des Individuums in erster Linie; bei gesteigerter Aufmerksamkeit nimmt die Frequenz der Lidbewegungen immer ab.

Über den Alkoholgehalt des Harns nach Genuss kleiner Alkoholmengen [1].

Von

Toivo Seppä.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

Mehrere Autoren haben nachgewiesen, dass der Alkohol schon in verhältnismässig kleinen Gaben vermag, die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit des Menschen herabzusetzen, und zwar findet dies nicht allein in unmittelbarem Anschluss an die Alkoholaufnahme statt, denn die schädliche Wirkung lässt sich noch zu einer Zeit konstatieren, wo die direkte Einwirkung des Alkohols scheinbar vollständig vorübergegangen ist [2].

Auf Grund dieser Erfahrungen stellte ich mir die Aufgabe zu untersuchen, inwiefern der Alkoholgehalt des Blutes zu der Zeit, während welcher die betreffenden Spätwirkungen des Alkohols vorhanden sind, noch erhöht ist. Wenn dies der Fall wäre, so würde dadurch die Spätwirkungen einfach als die Folge des zurückgebliebenen Alkohols gedeutet werden können.

Nach E. P. M. Widmark [3] wird der Alkohol etwa in derselben Konzentration, wie er im Blute vorkommt, im Harn abgegeben. Der Alkoholgehalt des Harnes stellt also einen adaequaten Ausdruck für den des Blutes dar, und es lässt sich daher die Verän-

---

[1] Der Redaktion am 1. Dezember 1917 zugegangen.

[2] Vgl. in dieser Hinsicht z. B. die Arbeit von Tötterman in Skand. Arch. f. Physiologie, 38; 1918 sowie die Zusammenstellung der einschlägigen Litteratur in Quensels Monographie Alkoholfrågan från medicinsk synpunkt. Upsala 1913.

[3] E. P. M. Widmark, Upsala Läkareförenings Förhandlingar. N. F. 19, Heft 4.

derungen der im Blute vorhandenen Alkoholmenge durch Bestimmung der Alkoholmenge im Harn verfolgen.

Bei meinen Analysen bin ich dem von Widmark[1] modifizierten Verfahren Nicloux'[2] gefolgt; bei der Titrierung benutzte ich eine gewöhnliche in 0.01 ccm graduierte Pipette.

Alle Versuche wurden an mich selber, 26 Jahre alt, ausgeführt. Ich habe vorher niemals Alkohol genossen. Während der Versuchsdauer suchte ich eine möglichst gleichförmige Lebensweise zu beobachten.

Die genossene Alkoholmenge betrug 25 bzw. 50 ccm und wurde in 40-prozentiger Lösung auf einem Mal und in jeder einzelnen Reihe so weit möglich zu derselben Tageszeit und bei demselben körperlichen Zustand verzehrt.

Vor jeder Einnahme von Alkohol wurde die Blase entleert. Dann wurde der Harn von Zeit zu Zeit mit grösster Sorgfalt gesammelt und so bald wie möglich an Alkohol analysiert.

Meine Versuche gliedern sich in vier Versuchsreihen; jede einzelne Reihe umfasst zehn Tage. Zwischen je zwei Reihen wurde mindestens eine zwei Wochen lange alkoholfreie Periode eingeschaltet.

Erste Reihe, 14.—23. Juli 1917.

In 40-prozentiger Lösung wurden 25 ccm Alkohol bei leerem Magen zwischen 8 und 9 Uhr Abends genossen. Zwölf Stunden später wurde die Blase entleert, und dann der Harn im Laufe der folgenden Stunde gesammelt und 5 ccm davon an Alkohol analysiert.

In keinem einzigen Falle konnte Alkohol dabei nachgewiesen werden.

Zweite Reihe, 22.—31. August 1917.

Bei dieser Reihe wurden 50 ccm Alkohol nach dem Abendessen zwischen 9 und 10 Uhr Abends genossen. Unmittelbar nachher ging ich zu Bett. Am folgenden Morgen, zwölf Stunden nach dem Alkoholgenuss, wurde die Blase entleert und der während der folgenden Stunde abgegebene Harn an Alkohol untersucht. Dabei wurden Harnproben von 25 ccm benutzt.

Nur in einem einzigen Falle, im Harn von achten Versuchstage, wurde Alkohol nachgewiesen, und zwar betrug die Menge davon nicht mehr als 0.004 promille.

---

[1] Widmark, Skand. Arch. f. Physiol., 35, S. 125; 1916.

[2] Nicloux, Thèse. Paris 1900. — Comptes rend. de la Soc. de biol., 74, S. 267; 1913.

Dritte Reihe, 10.—19. September 1917.

Auch in dieser Reihe wurden täglich 50 ccm Alkohol genossen. Der Genuss fand morgens bei nüchternem Magen sogleich nach dem Aufstehen und nach Entleerung der Blase statt. Danach wurde der Harn bei auftretendem Drang gelassen und von den einzelnen Portionen je 5 ccm zur Analyse verwendet.

Die Resultate sind aus folgender Tabelle ersichtlich.

Datum; Sept.	Zeit	Harnmenge; ccm	Alkohol im Harn; ‰	Anmerkungen
10.	7.53 v. M.	340	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	8.57 »	70	1.80	
	9.40 »	155	1.75	
	11.20 »	260	1.30	
	1.25 n. M.	130	0.50	
	3.55 »	185	0.15	
	4.38 »	115	0.00	
11.	8.05 v. M.	450	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	9.20 »	60	1.65	
	10.00 »	130	1.85	
	11.12 »	205	1.40	
	2.25 n. M.	180	0.45	
	4.05 »	165	0.10	
	5.50 »	140	0.00	
12.	8.00 v. M.	380	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	8.55 »	60	1.35	
	10.20 »	230	1.70	
	12.25 n. M.	240	1,35	
	3.18 »	170	0.15	
	5.10 »	60	0.00	
13.	7.40 v. M.	320	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	9.20 »	195	1.55	
	12.45 n. M.	280	1.10	
	2.00 »	120	0.25	
	4.35 »	100	0.00	

Datum; Sept.	Zeit	Harnmenge; ccm	Alkohol im Harn; $^0/_{00}$	Anmerkungen
14.	7.15 v. M.	410	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	8.17 »	80	1.30	
	9.05 »	135	1.20	
	9.55 »	130	1.10	
	1.00 n. M.	205	0.10	
	2.50 »	160	0.00	
15.	8.44 v. M.	520	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	9.39 »	70	1.80	
	10.13 »	145	2.00	
	11.41 »	190	1.65	
	1.00 n. M.	100	0.35	
	4.05 »	110	0.00	
16.	8.27 v. M.	470	0.00	
	8.27 »	—	—	50 ccm Alkohol
	9.15 »	55	0.40	
	11.45 »	210	0.75	
	2.35 n. M.	180	0.45	
	4.30 »	75	0.05	
	6.10 »	120	0.00	
17.	9.15 v. M.	580	0.00	
	9.15 »	—	—	50 ccm Alkohol
	10.48 »	100	0.65	
	12.05 n. M.	290	1.35	
	2.38 »	190	0.35	
	3.50 »	120	0.05	
	4.55 »	85	0.00	
18.	10.05 v. M.	360	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	11.00 »	90	1.25	
	11.40 »	240	1.75	
	1.20 n. M.	200	0.70	
	4.15 »	160	0.10	
	5.23 »	60	0.00	

Datum; Sept.	Zeit	Harnmenge; ccm	Alkohol im Harn; ‰	Anmerkungen
19.	8.30 v. M.	510	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	9.55 »	115	1.45	
	11.45 »	285	1.65	
	1.40 n. M.	180	0.45	
	2.50 »	75	0.05	
	4.35 »	150	0.00	

Aus dieser Reihe ist ersichtlich, dass der Alkohol nach durchschnittlich 6 Stunden 41 Minuten aus dem Harn verschwunden ist.

Bei den ersten fünf Tagen beträgt diese Zeit durchschnittlich 7 Stunden 5 Minuten ($8^h.2'$, $8^h.0'$, $7^h.18$, $6^h.20'$, $5^h.45'$), bei den letzten fünf Tagen 6 Stunden 17 Minuten ($4^h.16'$, $8^h.3'$, $6^h.35'$, $6^h.10'$, $6^h.20'$).

In diesen Erfahrungen finden wir eine Bestätigung der Angabe von Pringsheim[1], dass der Alkohol beim daran gewohnten Körper schneller als beim ungewohnten zersetzt wird. Es muss indessen bemerkt werden, dass sich keine ganz scharfe Grenze für die Zeit, wo die Alkoholabgabe im Harn aufgehört hat, aus meinen Versuche herleiten lässt.

Auf Grund der in dieser Versuchsreihe ermittelten prozentigen Zahlen habe ich die Gesammtmenge des im Harn ausgeschiedenen Alkohols berechnet. Diese beträgt för die zehn Tage durchschnittlich 0.633 g oder 1.27 Proz. des genossenen Alkohols.

Im Durchschnitt war die Alkoholmenge im Harn während der ersten fünf Tage 0.687 g, gleich 1.37 Proz. des genossenen Alkohols, und während der letzten fünf Tage 0.580 g, gleich 1.16 Proz. desselben.

Diese Zahlen stimmen mit denen von Binz, Heubach, Bodländer, Atwater und Benedict gut überein[2].

Vierte Reihe, 3.—12. Oktober 1917.

Bei dieser Reihe wurden 50 ccm Alkohol nachmittags bei leerem Magen genossen.

Die Resultate sind in folgender Tabelle eingetragen.

[1] Pringsheim, Biochem. Zeitschrift, 12, S. 143; 1908.

[2] Vgl. die Zusammenstellung bei Pringsheim, a. a. O.

Datum; Oktober	Zeit	Harnmenge; ccm	Alkohol im Harn; ‰	Anmerkungen
3.	3.19 n. M.	185	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	3.51 »	70	1.10	
	4.40 »	180	1.30	
	6.50 »	270	0.85	
	8.20 »	140	0.15	
	9.40 »	160	0.05	
4.	7.45 v. M.	480	0.00	
4.	3.39 n. M.	—	—	50 ccm Alkohol
5.	3.09 n. M.	—	—	50 ccm Alkohol
6.	2.00 n. M.	120	0.00	
	» »	—	—	50 ccm Alkohol
	3.50 »	410	0.60	
	4.50 »	200	0.50	
	10.32 »	370	0.05	
7.	8.35 v. M.	770	0.00	
7.	12.05 n. M.	—	—	50 ccm Alkohol
8.	3.00 n. M.	210	0.00	
	3.01 »	—	—	50 ccm Alkohol
	4.26 »	450	1.45	
	6.25 »	430	0.95	
	8.36 »	200	0.15	
	11.08 »	280	0.00	
9.	3.18 n. M.	—	—	50 ccm Alkohol
10.	3.15 n. M.	—	—	50 ccm Alkohol
11.	3.27 n. M.	140	0.00	
	3.30 »	—	—	50 ccm Alkohol
	4.45 »	270	1.40	
	5.50 »	180	1.30	
	7.35 »	200	0.50	
	9.20 »	310	0.05	
12.	7.30 v. M.	480	0.00	

Datum; Oktober	Zeit	Harnmenge; ccm	Alkohol im Harn; ‰	Anmerkungen
12.	7.30 v. M.	480	0.00	
	7.32 »	—	—	50 ccm Alkohol
	12.30 n. M.	530	0.95	
	3.27 »	320	0.10	
	5.20 »	120	0.00	

Auch bei diesen Versuchen findet sich kein Alkohol im Harn zur Zeit der Spätwirkung vor.

Durchschnittlich hat es 6 Stunden 51 Minuten gedauert, bis kein Alkohol mehr im Harn hat nachgewiesen werden können; im Harn sind hier im Durchschnitt 1.34 Prozent des genossenen Alkohols ausgeschieden; beide Zahlen sind mit denen der dritten Versuchsreihe fast identisch.

Zusammenfassung.

Aus diesen Versuchen geht hervor, dass der Alkoholgehalt im Harn, welcher nach früheren Autoren mit dem Alkoholgehalt im Blute auf Nächste übereinstimmt, binnen wenigen — 6 bis 8 — Stunden so tief herabsinkt, dass er mittelst der von mir benutzten Nicloux-Widmark'schen Methode nicht mehr nachweisbar ist.

Da indessen, wie zahlreiche frühere Versuche ergeben haben, die Spätwirkungen des Alkohols viel länger dauern, können diese nicht auf die Gegenwart vom Alkohol im Körper direkt bezogen werden, sondern müssen wohl als Ausdruck einer durch den Alkohol hervorgerufenen, längere Zeit dauernden Veränderung der Körpergewebe aufgefast werden.

Über den Geschmack.

Von

Yrjö Renqvist.[1]

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

I. Das Geschmackssystem und die in ihm stattfindenden Prozesse.

1. Die folgenden Ausführungen gehen darauf aus, die Erscheinungen physikalisch-chemisch zu erklären, welche in dem Geschmacksorgan stattfinden, wenn von einer schmeckbaren Substanz ein Reiz auf dasselbe ausgeübt wird, d. h. wenn es von einem adäquaten Reiz betroffen wird. Zu diesem Zweck habe ich versucht, diejenigen Erscheinungen klarzulegen, welche im Geschmacksorgan beim Schmecken stattfinden, und darauf fussend die Geschmacksqualitäten erörtert sowie die physiologische als die psychologische Seite des von mir aufgestellten Problems quantitativ studiert.

Das Geschmacksorgan wird von den an der Spitze, den Seitenrändern und der Wurzel der Zunge befindlichen Geschmackskörperchen gebildet. An der Zungenspitze liegen sie auf der Oberfläche und den Seiten der Papillae fungiformes, an den Seitenrändern und der Wurzel der Zunge auf den Seiten der Papillae foliatae und circumvallatae. Die Geschmackskörperchen selbst sind im Epithel der Papillen gelegene, spulenförmige Säcke (Länge 70—80 μ), in denen die langen, schmalen Geschmackszellen eingebettet sind. Diese füllen den ganzen Sack aus, und ihre äussere, scharfe Spitze ragt etwas aus der Öffnung der Sackes hervor (Durchmesser des Sackes 2,7—4,5 μ).

Nach den neuesten Untersuchungen dürfte der Geschmacksnerv nicht direkt mit den Geschmackszellen in Verbindung stehen, indem

[1] Der Redaktion am 15. September 1918 zugegangen.

seine feinsten Endigungen sich verästeln und frei zwischen den Geschmackszellen enden [1].

Der zu schmeckende Stoff wird immer in flüssiger oder in fester Form in den Mund eingeführt. Auch im letzteren Fall löst er sich jedoch, bevor er mit den Geschmackskörperchen in Berührung kommt, in dem im Munde befindlichen Speichel, sodass also die schmeckbare Substanz in jedem Fall flüssig oder gelöst ist.

Die Geschmackskörperchen mit allen ihren Teilen und die Geschmacksflüssigkeit oder -lösung bilden das System, in dem die zu untersuchenden Prozesse stattfinden. Ich werde dieses System im folgenden als Geschmackssystem bezeichnen.

2. Das Geschmackssystem ist ein heterogenes System, in dem die eine Phase von den kolloidalen, protoplasmatischen Geschmackszellen oder Geschmacksnervenendigungen, kurz von den Endapparaten des Geschmacksorgans und die andere Phase von der Geschmacksflüssigkeit oder -lösung gebildet wird. In der letzteren stellt die gelöste Substanz eine molekular- oder ionendisperse Phase dar.

Die in heterogenen Systemen stattfindenden Prozesse können Änderungen von chemischer, mechanischer, Volumen- oder Oberflächenenergie, elektrischer oder Wärmeenergie sein.

Diese Änderungen können, wie selbstverständlich, auch in dem heterogenen Geschmackssystem stattfinden; von vornherein ist es indessen wahrscheinlich, dass gewisse Vorgänge hier vorherrschend sind, während andere ganz minimal erscheinen.

Die spezifische Oberfläche des Geschmackssystems ist sehr gross, denn die kleinen, schmalen Geschmackszellen und -nervenendigungen stellen im Verhältnis zu ihrer Masse eine sehr grosse Oberfläche dar. Es ist daher wahrscheinlich, dass die Energiearten, welche die Fläche zum Kapazitätsfaktor haben, auch in dem grossflächigen Geschmackssystem vorzugsweise tätig sein werden.

Die betreffenden Energiearten sind die Oberflächenenergie und die elektrische Energie.

Es ist ausserdem möglich, dass der Endapparat des Geschmacksorgans ein Dispersoid ist, d. h. dass sein kolloidales Protoplasma in der Dispersionsflüssigkeit, welche höchst wahrscheinlich von der Zellflüssigkeit gebildet wird, sehr fein verteilt ist. Auch dieser Umstand führt seinerseits zu der Auffassung, dass die spezifische Fläche des

---

[1] Retzius, Biolog. Untersuchungen. 4. Stockholm 1892. — C. Arnstein, Arch. f. mikr. Anat. 41; 1893. Arnstein bemerkt, dass die Nervenfasern längs der Oberfläche der Geschmackszellen verlaufen.

Dispersoids sehr gross ist, was mit den obigen Auseinandersetzungen vollständig übereinstimmt.

Eine Untersuchung der in dem Geschmacksorgan stattfindenden Änderungen der Oberflächen- und der elektrischen Energie dürfte also für die Physiologie des Geschmacks nicht ohne Bedeutung sein.

3. Bevor diese Fragen erörtert werden, empfehlt sich indessen darzulegen, weshalb die übrigen hier möglicherweise stattfindenden Prozesse, also vor allem die Änderungen der chemischen Energie, so unbedeutend sind, dass ihre Rolle wahrscheinlich sehr bescheiden sein muss.

Die eventuellen chemischen Reaktionen würden natürlicherweise zwischen den Stoffen des Geschmacksorgans, welche vorzugsweise Kolloide sind, und dem zu schmeckenden Stoffe stattfinden. Zwischen diesen Stoffen besteht jedoch im allgemeinen eine sehr geringe Affinität, denn die zu schmeckenden Substanzen sind chemisch schwach aktiv, und werden überhaupt in schwachen Konzentrationen angewendet, weshalb auch die Menge der eventuellen chemischen Energie unbedeutend wird.

Sind die zu schmeckenden Substanzen chemisch sehr aktiv (z. B. Säuren, Halogene), oder ist ihre Konzentration hoch, so finden natürlich auch chemische Reaktionen im Geschmackssystem statt.

Diese Umstände müssen selbstverständlich bei den Versuchen berücksichtigt werden. Da wir aber von diesen chemischen Prozessen nichts wissen, ihre Art und Energie nicht kennen und daher auch nichts über ihre Bedeutung für die Geschmacksempfindung sagen können, dürfen bei hierhergehörigen Untersuchungen keine chemisch sehr aktiven Stoffe oder hohe Konzentrationen angewendet werden.

Wenn übrigens, wie oben ausgeführt, das Geschmackssystem ein Dispersoid darstellen würde, wo die chemischen Reaktionen sehr langsam vor sich gehen, so wird ihr eventueller Einfluss auf die Geschmacksempfindung wahrscheinlich nur unbedeutend sein und auch im Vergleich mit den schnell vor sich gehenden Änderungen der Oberflächenenergie spät in die Erscheinung treten.

Bodenstein und Fink[1] haben gezeigt, dass den an Flächen stattfindenden Reaktionen, also auch den chemischen, eine Adsorption der an der Reaktion beteiligten Substanzen an der Fläche vorausgeht.

---

[1] Bodenstein u. Fink, Zeitschr. f. physik. Chem. 60, S. 1; 1907.

Mithin ist die Oberflächenenergie, welche gerade die Adsorption hervorruft, auch in dem Fall, dass später chemische Reaktionen erfolgen, die zuerst auftretende Energieform.

Nach allem ist es also sehr wahrscheinlich, dass in dem Geschmackssystem vorzugsweise Umwandlungen von Oberflächen- und elektrischer Energie stattfinden.

4. In heterogenen, grossflächigen Systemen spielen sich Änderungen der Oberflächenenergie beim Hinzutritt einer molekular- oder einer ionendispersen Phase ab. Da die zu schmeckenden Substanzen in der Regel molekular- oder ionendispers sind, rufen also auch sie in dem Geschmackssystem wahrscheinlich Änderungen der Oberflächenenergie hervor.

Diese Energieänderungen sind durch zwei Faktoren, einen Intensitäts- und einen Kapazitätsfaktor, durch die Oberflächenspannung und die Grösse der Oberfläche bedingt. Wenn die Änderung der Oberflächenenergie latent bleibt und diese nicht in andere Energiearten übergeht, die Oberfläche sich nicht verkleinert und also der Kapazitätsfaktor unverändert bleibt, so ist die Änderung der Oberflächenenergie nur von der Änderung des Intensitätsfaktors abhängig und der Änderung desselben, d. h. der Oberflächenspannung proportional. Verändert sich dagegen auch der Kapazitätsfaktor, d. h. bestrebt sich die Oberfläche, sich in bezug auf ihre Grösse zu verändern (kleiner zu werden), so wird Oberflächenenergie frei und geht in andere Energiearten, namentlich in Volumen- und Wärmeenergie über.

Im letzteren Fall finden in dem betreffenden System Zustandsänderungen statt. Diese sind beim Geschmackssystem wahrscheinlichst innere Zustandsänderungen, Änderungen des Dispersitätsgrades, Quellungen oder Gerinnungen.

Ob im Geschmackssystem bei einer Änderung der Oberflächenspannung diese Zustandsänderungen stattfinden, hängt von der Stabilität des Systems und von dem Grade der Änderung der Oberflächenspannung ab. Je stabiler das System und je kleiner die Änderung der Oberflächenspannung, um so wahrscheinlicher ist es, dass keine Zustandsänderungen eintreten.

5. Die Oberflächen, an denen im Geschmackssystem die Reaktionen stattfinden, werden höchst wahrscheinlich von den Membranen der Geschmackszellen und ihrer feinen Spitzen gebildet, welche als Gele ausserordentlich stabil sind. Die Geschmackslösungen andererseits, die im allgemeinen in den Mund eingeführt werden, insbe-

sondere die Lösungen, die in unseren Versuchen angewendet wurden, waren von sehr niedriger Konzentration, weshalb die Veränderung der Oberflächenspannung, die sie im Geschmackssystem herbeiführten, sehr klein war. Es ist mithin wahrscheinlich, dass im Geschmackssystem keine oder wenigstens keine grösseren Zustandsänderungen, Quellungen oder Koagulationen stattfinden. Innere Zustandsänderungen oder Änderungen des Dispersitätsgrades können jedoch in beschränktem Masse eintreten, obwohl dies vermutlich ausserordentlich langsam geschieht, was gerade von dem Gel-Charakter der äussersten Schicht der festen Phase herrührt.

Die molekulardisperse Geschmackssubstanz gerät natürlich zuerst nur mit dieser äussersten Grenzfläche in direkte Berührung; die inneren Zustandsänderungen treten erst in dem Masse ein, wie die molekulardisperse Phase in das Dispersoid hinein diffundiert, und dies geht, wie die Diffusion in solchen Substanzen überhaupt, ausserordentlich langsam vor sich. Für manche Moleküle und Ionen sind die Zellmembranen ausserdem impermeabel oder in sehr geringem Grad permeabel, weshalb die Diffusion durch sie unmöglich oder schwer ist.

Höchst wahrscheinlich ist also die im Geschmackssystem durch die molekular- oder ionendisperse Geschmackssubstanz hervorgerufene Änderung der Oberflächenenergie nur potentiell, die Oberflächenspannung verändert sich, die Grösse der Oberfläche aber nicht.

Vielleicht ist es angebracht hervorzuheben, dass, selbst wenn es nicht so wäre, das Verfahren, welches wir anwenden werden, nicht davon abhängig ist. Der Vollständigkeit halber sind nur die möglichen Erscheinungen behandelt worden, die in dem Geschmackssystem auftreten können, und es ist versucht worden, zu zeigen, welche von ihnen im Hinblick auf die Natur des Systems am wahrscheinlichsten eintreten.

6. Die molekular- oder ionendisperse Substanz, welche die Veränderung der Oberflächenspannung herbeigeführt hat, wird bekanntlich an der Oberfläche der zweiten Phase des Systems adsorbiert, d. h. ihre Konzentration ist hier grösser oder kleiner als anderswo in der Lösung. Im ersteren Fall ist die Adsorption positiv, im letzteren negativ [1].

Die von der Geschmackssubstanz hervorgerufenen Veränderungen der Oberflächenspannung im Geschmackssystem führen also wahrscheinlich auch zu einer Adsorption der Geschmackssubstanz daselbst.

---

[1] H. Freundlich, Kapillarchemie, S. 52; 1909.

Die andere Energieart, die sich in grossflächigen Systemen, also namentlich in Dispersoiden, betätigt, ist die elektrische Energie. Auch bei dieser Energieart erscheint als Kapazitätsfaktor die Oberfläche, ihr Intensitätsfaktor ist die elektrische Potentialdifferenz. Alles, was oben von der Oberflächenenergie gesagt wurde, findet auch hier Anwendung; den Veränderungen der Oberflächenspannung werden nur die Veränderungen der elektrischen Potentialdifferenz entsprechen.

Neben der Adsorption der Geschmackssubstanz sind also die von ihr im Geschmackssystem hervorgerufenen Veränderungen der elektrischen Potentialdifferenz wahrscheinlich die bemerkenswertesten Energieänderungen des Systems. Daher ist es am natürlichsten, diese Prozesse, d. h. die Adsorption der zu schmeckenden Substanz und die im Geschmackssystem sich bildenden elektrischen Potentialdifferenzen, als adäquate Reize der Geschmacksempfindung aufzufassen.

Im folgenden habe ich versucht diese Auffassung näher zu entwickeln und experimentell nachzuprüfen.

II. Die Adsorption im Geschmackssystem und die Schwellenempfindung des Geschmacks.

7. Das folgende ist nach der Darstellung in Freundlichs Kapillarchemie dargelegt.

Gibbs hat für die Adsorptionsprozesse folgende Gleichung abgeleitet:

$$u = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\gamma}{dc},$$

wo u die absorbierte Menge Substanz pro Flächeneinheit, c die Konzentration der Substanz und γ die Oberflächenspannung an der Grenzfläche der Phasen ist.

Aus dieser Gleichung ersehen wir, dass, wenn die Oberflächenspannung bei zunehmender Konzentration der zu adsorbierenden Substanz anwächst, d. h. $\frac{d\gamma}{dc}$ positiv ist, die Adsorption negativ, wenn die Oberflächenspannung aber bei zunehmender Konzentration abnimmt, d. h. $\frac{d\gamma}{dc}$ negativ ist, die Adsorption positiv sein wird.

Experimentell ist gezeigt worden, dass zwischen der Veränderung der durch die zu adsorbierende Substanz hervorgerufenen Oberflächenspannung und ihrer Konzentration folgendes Verhältnis herrscht:

$$\gamma - \gamma_1 = s \,.\, c^{\frac{1}{n}},$$

wo s und $\frac{1}{n}$ Konstanten und γ und γ_1 die Oberflächenspannungen an der Grenzfläche der Phasen bei reiner Lösungsflüssigkeit und Lösung sind.

Hieraus erhalten wir durch Differentiation

$$\frac{d\gamma}{dc} = -\frac{s}{n} c^{\frac{1}{n}-1},$$

was in die Gleichung von Gibbs eingeführt

$$u = \frac{s}{n \,.\, RT} c^{\frac{1}{n}}$$

ergibt.

Bezeichnen wir $\frac{s}{n \,.\, RT} = \alpha$, so erhalten wir schliesslich

$$u = \alpha \,.\, c^{\frac{1}{n}}.$$

Dies stellt die allgemeine Form der Adsorptionsgleichung dar, und sie drückt also das Verhältnis zwischen der adsorbierten Substanzmenge u und der in der Lösung derselben herrschenden Konzentration aus. Da der Adsorptionskoeffizient α und der Oberflächenspannungskoeffizient s direkt proportional sind, sind also die adsorbierten Substanzmengen auch proportional den in dem System stattfindenden Veränderungen der Oberflächenspannung.

In der physikalischen Chemie werden die Adsorptionsprozesse vorzugsweise so untersucht, dass man die den Konzentrationen c entsprechenden adsorbierten Mengen u aus der in der Lösung stattfindenden Konzentrationsänderung berechnet. Die Gültigkeit der Adsorptionsformel kann man dann z. B. so prüfen, dass man in der daraus durch Logarithmieren gewonnenen Gleichung

$$\log u = \log \alpha + \frac{1}{n} \,.\, \log c$$

die entsprechenden Werte von $\log u$ und $\log c$ in ein Koordinatensystem einträgt, wobei, falls die Formel gültig ist, die die entsprechenden Werte vertretenden Punkte auf einer Geraden liegen müssen. Hieraus kann man dann die Werte von α und $\frac{1}{n}$ bestimmen.

8. Zur Untersuchung der Adsorptionen im Geschmackssystem ist die betreffende Untersuchungsmethode indessen nicht anwendbar, weil sich die Konzentrationsänderung der Geschmackslösung wegen der Beimischung von Speichel, dessen Menge nur ganz approximativ festgestellt werden kann, nicht ganz genau bestimmen lässt. Dagegen können wir, wie ich im folgenden näher ausführen werde, mit der durch die Adsorption hervorgerufenen Geschmacksempfindung, auch die im Geschmackssystem stattfindende Adsorption experimentell verfolgen.

Das hier benutzte Verfahren gründet sich auf die Tatsache, dass, welches Verhältnis zwischen dem Reiz und der durch denselben hervorgerufenen Empfindung auch gelten mag, bei gleich grosser Empfindlichkeit des Sinnesorgans, gleich starken Empfindungen gleich grosse Reize entsprechen.

Auf das Gebiet der Geschmacksempfindung angewendet, würde dieser Satz aussagen, dass gleich starken Geschmacksempfindungen gleich grosse an dem Geschmacksorgan adsorbierte Mengen des zu schmeckenden Stoffes entsprechen müssen.

Da ferner die adsorbierten Substanzmengen proportional der in dem System stattfindenden Veränderung der Oberflächenspannung und -energie sind, sind auch diese bei gleich starken Geschmacksempfindungen gleich gross.

9. Ausserdem ist die Stärke der Empfindung natürlich auch von der Schnelligkeit, mit welcher sich die Reizenergie verändert, abhängig und wird um so stärker, je schneller diese Änderung erfolgt.

Daraus folgt, dass gleich starken Empfindungen wahrscheinlich gleich grosse Änderungen der Reizenergie in der Zeiteinheit entsprechen.

Für den Geschmack müssen also gleich starke Empfindungen von gleich grossen Mengen in der Zeiteinheit adsorbierter Substanz ausgelöst werden.

Wir haben also zunächst zu untersuchen, ob die Adsorptionsgeschwindigkeiten verschiedenartiger Substanzen im Geschmackssystem tatsächlich gleich gross sind, wenn sie gleich starke Geschmacksempfindungen hervorrufen.

10. Wenn der Geschmack verschiedener Substanzen qualitativ verschieden ist, ist es sehr schwer oder unmöglich, die Stärke der durch sie hervorgerufenen Empfindungen genau zu vergleichen. Bei sehr niedrigen Konzentrationen aber haben indessen manche Stoffe, deren Geschmacksqualitäten bei höheren Konzentrationen differieren,

ganz dieselbe Qualität und können also wirklich untereinander verglichen werden.

Es empfiehlt sich umso mehr, bei den einschlägigen Versuchen die Schwellenkonzentrationen zu benutzen, als es fast unmöglich ist, sich der Intensität einer bestimmten Geschmacksempfindung im Vergleich mit einer anderen Empfindung ganz genau zu erinnern.

Bei den Schwellenlösungen kommen diese Schwierigkeiten in Wegfall. Hat man es zu einer gewissen Routine gebracht, so ist man imstande, die einer Schwellenempfindung entsprechende Konzentration mit recht grosser Genauigkeit zu bestimmen, und zwar ist dieselbe bei einunddemselben Individuum für die einzelnen Substanzen beinahe konstant, falls die Zeitintervalle der verschiedenen Bestimmungen nicht sehr gross sind.

11. Wenn wir die im Geschmackssystem adsorbierten Mengen einer zu schmeckenden Substanz quantitativ bestimmen wollen, müssen wir ausser der Konzentration c der Substanz, auch die in der Adsorptionsformel $u = \alpha \cdot c^{\frac{1}{n}}$ auftretenden Konstanten α und $\frac{1}{n}$ kennen.

Die Grösse dieser Werte ist sowohl vom Adsorbendum, als auch vom Adsorbens, sowie von der Flüssigkeit oder überhaupt dem Stoff, in dem die Adsorption stattfindet, abhängig.

Was zunächst die Werte von α betrifft, gilt für sie folgende, experimentell gewonnene Regel [1]:

$$\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)_A = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)_B,$$

wo die Indices 1 und 2 zwei verschiedene Adsorbenda und A und B zwei verschiedene Adsorbentien angeben. Bei zwei verschiedenen Adsorbenden ist also das Verhältnis der Adsorptionskoeffizienten α von den angewandten Adsorbentien unabhängig.

Da im folgenden nur die relativen, nicht die absoluten im Geschmackssystem adsorbierten Mengen der Geschmackssubstanzen bestimmt werden sollen, können wir auf Grund der obigen Regel, die in der Literatur vorliegenden α-Werte verschiedener Stoffe benutzen, obwohl sie mit Hilfe von ganz anderen Adsorbentien, z. B. Kohle, als denen, welche im Geschmackssystem vorhanden sind, gewonnen wurden.

Der Wert des Adsorptionsexponenten $\frac{1}{n}$ variiert innerhalb recht enger Grenzen, wie stark auch das Adsorbens, das Adsorbendum

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 155.

oder die Lösungssubstanz wechseln mag[1]. Im allgemeinen liegt der Wert von $\frac{1}{n}$ zwischen 0,1 und 0,5. Auf Grund dieser Tatsache lassen sich die in der Literatur vorliegenden Werte für $\frac{1}{n}$ auch für die Bestimmung der im Geschmackssystem stattfindenden Adsorptionen benutzen.

12. Nach den obigen Überlegungen sollten den Schwellenempfindungen gleich grosse in der Zeiteinheit adsorbierte Mengen der zu schmeckenden Substanz entsprechen.

Es muss also auch die Adsorptionsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Die Abhängigkeit der Adsorptionsgeschwindigkeit von der adsorbierten Stoffmenge wird bestimmt durch die Formel

$$\frac{dx}{dt} = k\,(x_\infty - x),$$

wo x_∞ die im Adsorptionsgleichgewicht, nach unendlich langer Zeit adsorbierte Menge, x die in der Zeit t adsorbierte Menge und k die Geschwindigkeitskonstante ist[2].

Die Adsorptionsgeschwindigkeit wird folglich durch die allgemeine Gleichung der monomolekularen Reaktionen ausgedrückt.

Aus dieser Gleichung ersehen wir, dass die Adsorptionsgeschwindigkeit im ersten Augenblick, wo $x = 0$, am grössten ist, und bei Zunahme der adsorbierten Menge immer kleiner wird. Bei der Anwendung von etwas konzentrierteren Lösungen tritt dieser Einfluss der stetigen Abnahme der Adsorptionsgeschwindigkeit auf die Intensität der Geschmacksempfindung deutlich in die Erscheinung. Im ersten Augenblick, nachdem die Geschmackslösung in den Mund eingeführt ist, ist der Geschmack am stärksten, wird dann immer schwächer und verschwindet zuletzt vollständig.

Bei der Schwellenkonzentration der Geschmackslösung erscheint der Geschmack nur sehr flüchtig und verschwindet sofort vollständig. Bei dieser niedrigen Konzentration ist die Adsorptionsgeschwindigkeit also nur im ersten Augenblick hinreichend gross, um eine Empfindung hervorzurufen. Wenn sie nur ein wenig abgenommen hat, ist keine Geschmacksempfindung mehr vorhanden, und der Geschmack dauert also nur einen Augenblick an. Eine Abschwächung des Geschmacks kann während dieses kurzen Zeitraums nicht beobachtet werden.

---

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 149.

[2] Freundlich, Kapillarchemie, S. 113 und 172.

Beim Schwellenwert wirkt also als Geschmacksreiz die Geschwindigkeit im ersten Augenblick des Adsorptionsprozesses. Wenn also $t = 0$, wird auch $x = 0$, und die Geschwindigkeit

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot x_\infty.$$

x_∞ ist die im Adsorptionsgleichgewicht adsorbierte Menge, und ihre Abhängigkeit von der Konzentration der Lösung wird durch die schon angeführte Adsorptionsgleichung $u = \alpha \cdot c^{\frac{1}{n}}$ ausgedrückt.

Bezeichnen wir die Schwellenkonzentration des Geschmacks mit c_r, so erhalten wir also

$$x_\infty = \alpha \cdot c_r^{\frac{1}{n}}$$

und

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot \alpha \cdot c_r^{\frac{1}{n}}.$$

13. Noch ist die Geschwindigkeitskonstante k zu bestimmen.

Nach Nernst und Brunner[1] ist in heterogenen Systemen die Reaktionsgeschwindigkeit durch die Geschwindigkeit bedingt, mit welcher die reagierenden Phasen miteinander in unmittelbare Berührung kommen, d. h. durch die Diffusionsgeschwindigkeit. Ist die Reaktionsgeschwindigkeit zwischen den Phasen selber sehr klein, so bestimmt natürlich sie die Geschwindigkeit des Prozesses, aber im allgemeinen ist sie viel grösser als die Diffusionsgeschwindigkeit, und diese bestimmt dann als der langsamste Prozess die Geschwindigkeit der Reaktion. Nernst und Brunner haben die Stichhaltigkeit dieser Theorie nachgewiesen, und dasselbe hat ausserdem Jablezynski getan[2].

Auch für die Adsorptionsprozesse, die ebenfalls in heterogenen Systemen stattfinden, hat sie, wie von mehreren Autoren experimentell gezeigt worden ist, Geltung[3].

Der Geschwindigkeitskoeffizient k ist also dem Diffusionskoeffizienten der zu schmeckenden Substanz proportional.

---

[1] Nernst u. Brunner, Zeitschr. f. physik. Chem. 47, S. 52; 1904.

[2] Jablezynski, Zeitschr. f. physik. Chem. 64, S. 748, 1908; — 75, S. 503; 1911.

[3] G. v. Georgievics u. A. Dietl, Zur Kenntnis der Kinetik der Sorption. Zeitschr. f. physik. Chem. 87, S. 669; 1914. — R. Marc, Über die Kinetik der Adsorption. Zeitschr. f. Elektrochem. 20, S. 515; 1914.

Die Adsorptionsgeschwindigkeit bei einer der Schwelle des Geschmacks entsprechenden Konzentration kann also durch die folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{m} \cdot D \cdot \alpha \cdot c_r^{\frac{1}{n}},$$

wo $\frac{1}{m}$ eine Konstante, die bei allen Stoffen gleich gross ist.

Wenn der im Geschmackssystem stattfindende Adsorptionsprozess wirklich den Reiz der Geschmacksempfindung darstellt, müsste die Schnelligkeit dieses Prozesses bei den Schwellengeschmäcken gleich gross sein.

Bei den Schwellenkonzentrationen des Geschmacks verschiedener Substanzen müsste also:

$$D \cdot \alpha \cdot c_r^{\frac{1}{n}} = \text{Const.}$$

14. Mit Hilfe dieses Ausdruckes können wir die Stichhaltigkeit der Adsorptionstheorie des Geschmacks experimentell untersuchen. Wir bestimmen für verschiedene Substanzen die Schwellenkonzentrationen c_r des Geschmacks und stellen diese mit den aus der Litteratur bekannten Adsorptionskonstanten α und $\frac{1}{n}$ für irgendein Adsorbens zusammen. Da ausserden der Wert des Diffusionskoeffizienten D bekannt ist, können wir für die verschiedenen Substanzen den Wert der obigen Funktion berechnen.

Bevor wir die Resultate der Versuche durchmustern, sind noch einige Punkte zu erwähnen.

In der Exponentialgleichung des Adsorptionsprozesses $u = \alpha \cdot c^{\frac{1}{n}}$ ist c die Gleichgewichtskonzentration, d. h. die Konzentration der Lösung nach Ablauf der Adsorption. In der obigen, für die Schwelle des Geschmacks geltenden Formel ist c_r also die Konzentration der Geschmackslösung, wenn die Adsorption im Geschmackssystem bereits stattgefunden hat.

Bezeichnen wir mit v das Volumen der Geschmackslösung und mit a die darin befindliche Substanzmenge, so ist $\frac{a}{v}$ die Konzentration der Lösung vor der Adsorption, d. h. die Anfangskonzentration, und wenn x die adsorbierte Menge Substanz ausdrückt, ist die Gleichgewichtskonzentration $\frac{a-x}{v}$.

Wollen wir diese Grössen in der Schwellengleichung des Geschmacks anwenden, so bekommt diese die Form

$$D \cdot \alpha \left(\frac{a-x}{v}\right)^{\frac{1}{n}} = \text{Const.}$$

Ich habe bei der Berechnung meiner Versuchsergebnisse statt der Gleichgewichtskonzentration die Anfangskonzentration $\frac{a}{v}$ benutzt, weil deren Bestim-

mung viel leichter und genauer stattfinden kann. Der auf diese Weise begangene Fehler ist auch so klein, dass er auf das Ergebnis keine Einwirkung ausübt.

Dies lässt sich auf zweierlei Weise dartun.

Ich habe zuerst eine Lösung hergestellt, deren Konzentration die Schwellenstärke besitzt. Ich führte sie mir in den Mund ein, schmeckte sie und spie sie aus und bestimmte dann die Konzentration durch Titration (Salzlösungen). Die erstere Konzentration ist die Anfangskonzentration, die letztere die Gleichgewichtskonzentration. Während ihres Aufenthalts im Munde wird indessen die Lösung mit Speichel gemischt, der ihre Konzentration verändert; wenn die zu schmeckende Substanz auch zu denen gehört, die im Speichel vorhanden sind, wirkt natürlich auch dieser auf die Konzentration ein.

Wenn man aber das Volumen Speichel, das sich der Geschmackslösung beimischt, und die Konzentration der in der Geschmackslösung und im Speichel möglicherweise vorhandenen gemeinsamen Substanz im Speichel feststellt, so kann man die wirkliche Gleichgewichtskonzentration bestimmen.

Ich ermittelte also zuerst z. B. die Schwellenkonzentration von KBr, diese war 0,0048 molar. Ich nahm diese Lösung (4 ccm) in den Mund, schmeckte sie und spie sie aus. Durch Titration mit $AgNO_3$, bekam ich als ihre Konzentration jetzt 0,0053. Die Zunahme der Konzentration beruht natürlich darauf, dass sich der Lösung Speichel beigemischt hat, in dem als hauptsächlichstes Salz KCl enthalten ist, welches auch durch $AgNO_3$ ausgefällt wird. Ich bestimmte nun die Chlorionenkonzentration im Speichel durch Titrieren, dieselbe ist etwa 0,015, jedoch um mehrere Tausendstel variierend (einen ziemlich gleich grossen Wert hat Hammerbacher durch massanalytische Bestimmung erhalten [1]).

Zur Bestimmung der Menge von Speichel, die sich der Geschmackslösung beimischt, habe ich mehrere Versuche gemacht, aus welchen hervorgeht, dass auf 4 ccm Geschmackslösung etwa 0,10—0,20 ccm (im Mittel 0,15 ccm) Speichel ausfallen. Die durch die Salze des Speichels herbeigeführte Zunahme der Konzentration beträgt also $\frac{0,15}{4,15} . 0,015 = 0,00054$.

Die Gleichgewichtskonzentration der eigentlichen zu schmeckenden Substanz ist folglich 0,0053 — 0,00054 = 0,00476 (0,0048), oder fast ganz ebenso gross wie die Anfangskonzentration 0,0048. Da sich die der Geschmackslösung beimischende Speichelmenge nicht exakt feststellen lässt und da die Konzentration der Salze des Speichels einigermassen variiert, ist es natürlich ein Zufall, dass wir in dem obigen Fall ganz die gleiche Gleichgewichts- und Anfangskonzentration erhielten. Jedenfalls zeigt aber schon diese Bestimmung, dass der Unterschied zwischen beiden minimal ist.

Auch folgendes Verfahren macht es wahrscheinlich, dass statt der Gleichgewichtskonzentration ohne die Gefahr eines grösseren Fehlers die Anfangskonzentration angewendet werden kann.

Bei der Schwelle des Geschmacks ist

$$D . \alpha \left(\frac{a-x}{v}\right)^{\frac{1}{n}} = \text{Const.}$$

[1] Hammerbacher, Zeitschr. f. physiolog. Chem. 5, S. 302, 1881.

Da bei jeder Substanz D, α und $\frac{1}{n}$ konstant sind, ist folglich

$$\frac{a-x}{v} = \text{Const.}$$

oder

$$\frac{a}{v} = x \cdot \frac{1}{v} + \text{Const.}$$

Die adsorbierte Menge der schmeckenden Substanz x ist natürlich bei der Schwelle des Geschmacks für jede Substanz konstant.

Wir finden also, dass die Anfangskonzentration $\frac{a}{v}$ eine lineare Funktion des reziproken Wertes des Volumens v der Geschmackslösung bei dem Schwellengeschmack ist.

Auf diese Weise kann man daher durch Bestimmung der Werte der Schwellenkonzentration, d. h. der Anfangskonzentration von Geschmackslösungen, wenn man verschieden grosse Volumina der zu schmeckenden Substanz in den Mund einführt, die adsorbierte Menge x feststellen.

Ich habe solche Bestimmungen mit verschiedenen Volumina ausgeführt, aber die Anfangskonzentration war immer fast gleich gross, sie war bei grösseren Volumina nicht kleiner als bei kleineren, d. h. x, die adsorbierte Menge ist sehr klein.

15. Zur Bestimmung der Schwellenkonzentration des Geschmacks bin ich folgendermassen zuwege gegangen.

Durch einige Stichproben wurden zwei Konzentrationen ermittelt, bei deren einer keine Geschmacksempfindung entsteht, während bei der anderen ein deutlicher, ziemlich intensiver Geschmack auftritt. Durch Erhöhung der ersteren und Erniedrigung der letzteren wurde dann allmählich die Schwellenkonzentration in immer engere Grenzen eingeschlossen. Nachdem der Spielraum des Schwellenwerts auf diese Weise sehr stark reduziert war, stellte ich innerhalb der so bestimmten Grenzen eine Reihe von Lösungen her, deren Konzentrationen sehr wenig voneinander abwichen, und schmeckte dann diese Reihe von den niederen Konzentrationen bis zu den höheren und oft auch umgekehrt durch [1].

Bei einiger Routine kann man die niedrigste Konzentration, die noch eine Geschmacksempfindung hervorruft, ausserordentlich genau bestimmen, und bei wiederholter Feststellung der Schwellenkonzentration für eine und dieselbe Substanz, weichen die erhaltenen Werte nur sehr wenig, ja meistens überhaupt kaum merkbar voneinander ab, vorausgesetzt, dass zwischen den Bestimmungen keine längere Zeit verstrichen ist.

[1] Bei Stoffen die auch einen Geruch haben, wurde die Nase während des Versuchs zugehalten.

Für die meisten Stoffe habe ich in dieser Weise die Schwellenkonzentration fünfmal (Elektrolyte), für andere drei- oder viermal, für homologe Alkoholäther nur zweimal bestimmt. In den Tabellen findet man die Mittel dieser sehr wenig von einander abweichenden Werte.

Zur Herstellung der zu schmeckenden Lösungen habe ich aus einer Lösung von bestimmter Konzentration (meistens 0,1 molar) mittels einer in 0,01 ccm graduierten Pipette ein bestimmtes Volumen Lösung in destilliertes Wasser überführt, so dass das Gesamtvolumen der zu schmeckenden Lösung immer 4 ccm war. Durch Titration habe ich ausserdem oft (wenn die Geschmackslösungen Elektrolyte waren) die Konzentration der so angefertigten Lösung direkt ermittelt.

Zwischen jedem Schmeckversuch wurde der Mund immer mit destilliertem Wasser ausgespült, und ausserdem wurde vor jedem Versuch ca. 4 ccm, d. h. ebenso viel wie Geschmackslösung, destilliertes Wasser in den Mund genommen, mit dessen Geschmack, oder richtiger Geschmacklosigkeit, der von der Lösung hervorgerufene Geschmack verglichen wurde.

Zur Begründung dieses Verfahrens seien folgende Tatsachen hier erwähnt.

Wenn wir 4 ccm destilliertes Wasser — dieselbe Menge wie von der Geschmackslösung — in den Mund nehmen, haben wir in Wirklichkeit eine sehr schwache Speichellösung im Munde, weil sich dem Wasser sofort Speichel beimischt. Diese Lösung ist in Bezug auf die Salze des Speichels und seine übrigen Bestandteile ebenso konzentriert wie die später in den Mund eingeführte Geschmackslösung, da das Volumen beider dasselbe ist. Nimmt man die Geschmackslösung unmittelbar nach diesem destillierten Wasser in den Mund, so verändert sich also die Konzentration der Bestandteile des Speichels nicht im Geschmackssystem, es herrscht folglich in Bezug auf sie von vornherein Adsorptionsgleichgewicht, sie werden nicht adsorbiert und nicht von der Grenzfläche des Systems ausgewaschen. Der einzige Adsorptionsprozess, der mithin hierbei stattfinden wird, ist die Adsorption der zu schmeckenden Substanz.

Wenn wir den Mund nicht ausspülen und den Geschmack der Lösungen nicht mit dem des destillierten Wassers vergleichen, sind die Salze und übrigen Bestandteile des Speichels im Geschmackssystem aus der unverdünnten Konzentration des Speichels adsorbiert, sodass bei der Einführung der Geschmackslösung, die in Bezug auf diese Substanzen sehr schwach ist, eine Auswaschung der Bestandteile des Speichels von der Oberfläche des Adsorbens stattfinden muss, was

natürlich die Erscheinungen im Geschmackssystem wesentlich kompliziert.

16. Im allgemeinen heisst es, destilliertes Wasser habe einen eigentümlichen, meist bitteren Geschmack. Der Speichel dagegen wird als geschmacklos bezeichnet.

Jeder, der Schmeckversuche unternommen hat, hat wahrscheinlich beobachtet, dass alle Substanzen, nachdem sie eine Zeitlang im Munde gewesen sind, geschmacklos werden.

Wenn wir destilliertes Wasser einige Zeit im Mund behalten, es dann ausspeien und unseren eigenen Speichel schmecken, besitzt er einen deutlichen Geschmack.

Nach unserer Erklärungsweise ist dies auch natürlich: jede Substanz, die sich längere Zeit im Geschmackssystem befunden hat, ist im Adsorptionsgleichgewicht und die Adsorptionsgeschwindigkeit ist Null, weshalb keine Geschmacksempfindung mehr erscheint. Wenn sich nun die Konzentration der Substanz hinreichend verändert oder irgendeine neue Substanz in das System gelangt, finden wieder Adsorptionsprozesse statt, deren Geschwindigkeit gross genug ist, um eine Geschmacksempfindung zu verursachen.

Destilliertes Wasser, das nach wiederholter Ausspülung des Mundes keinen Geschmack mehr besitzt, habe ich also bei der Bestimmung der Schwellenwerte als Vergleichsobjekt benutzt, sein Geschmack ist sozusagen der Null-Geschmack gewesen.

17. Da die oben angeführte, für die Grenzwerte des Geschmacks geltende Gleichung nur unter Berücksichtigung der im Geschmackssystem stattfindenden Adsorptionen und nicht der möglicherweise von der zu schmeckenden Substanz daselbst hervorgerufenen elektrischen Erscheinungen abgeleitet worden ist, dürfen wir erwarten, dass sie in erster Linie für Nichtelektrolyte, die keine elektrischen Potentialdifferenzen hervorrufen, Geltung habe.

In Tabelle 1 finden sich die Resultate der von mir mit zwei Zuckerarten angestellten Bestimmungen. Die Adsorptionskonstanten α und $\frac{1}{n}$ habe ich aus den Bestimmungen erhalten, die G. Wiegner[1] unter Anwendung von Blutkohle als Adsorbens gemacht hat Die Kolumne c_r der Tabelle enthält für die beiden Zuckerarten die Schwellenkonzentrationen (immer molare Konzentrationen), welche von einander sehr erheblich abweichen.

---

[1] G. Wiegner, Kolloid. Zeitschr., 7, S. 129; 1910.

Die letzte Kolumne enthält die aus den Formeln $D . \alpha . c_r^{\frac{1}{n}}$ berechneten Werte, die fast gleich gross sind.

Tabelle 1.

	D	α	$\frac{1}{n}$	c_r	$D . \alpha . c_r^{\frac{1}{n}}$
Rohrzucker	0,35	1,26	0,11	0,020	0,35
Milchzucker	0,37	1,74	0,22	0,068	0,36

In der Literatur habe ich keine weiteren zusammenhängenden Angaben über die Adsorption von Nichtelektrolyten gefunden, weshalb diese Bestimmungen auf die beiden ebenerwähnten Substanzen beschränkt werden mussten.

18. Über die Adsorption der Elektrolyte liegen dagegen in der Literatur zahlreiche Mitteilungen vor. Diese bieten indessen kompliziertere Erscheinungen dar, indem sich bei ihnen auch elektrische Potentialdifferenzen im Geschmackssystem bilden.

Ihre Entstehung können sie verschiedenen Ursachen verdanken. Die Elektrolyte können eine Diffusionspotentialdifferenz hervorrufen, die von der verschieden grossen Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen herrührt (vgl. Kap. VI).

Auch können im Geschmackssystem Potentialdifferenzen entstehen, die darauf beruhen, dass das Adsorbens des Systems positiv oder negativ geladen ist und daher die entgegengesetzt geladenen Ionen des zu schmeckenden Elektrolyten in grösserer Menge als die gleichsinnig geladenen adsorbiert werden. Dies ist die sog. Adsorptionspotentialdifferenz, und die Adsorption selbst heisst elektrische Adsorption.

Das Adsorptionspotential läuft parallel mit der Adsorption der Ionen, wenn, wie Baur und Kronmann[1] gezeigt haben, die Konzentration der Ionen klein ist. Wir können also durch Bestimmung der elektrischen Adsorption die relativen Adsorptionspotentiale berechnen.

Ferner können Potentialdifferenzen infolge der verschieden grossen Löslichkeit des Kations und des Anions eines Elektrolyten in dem Adsorbens des Geschmackssystems entstehen. Diese Potentiale entstehen jedoch im Vergleich mit den vorhergehenden sehr langsam, und ausserdem erfolgt, wie ich schon hervorgehoben habe, vor der eventuellen Lösung der Ionen im Adsorbens, deren Adsorption an

[1] Baur u. Kronmann, Zeitschr. f. physik. Chem. 92, S. 81; 1916.

seiner Oberfläche. Das Adsorptionspotential bildet sich also in jedem Fall früher als das Lösungspotential und geht ihm voran.

Da die Schwellenempfindung fast gleichzeitig mit der Einführung der Geschmackslösung in den Mund entsteht und sogleich verschwindet, ist es natürlich, dass das Adsorptions- und möglicherweise das Diffusionspotential, die sich ebenfalls sehr schnell bilden, für diese Geschmacksempfindung ausschlaggebend sind.

Da das Adsorptionspotential und die elektrische Adsorption parallel laufen, genügt es, die letztere allein zu behandeln.

Weil die elektrische Ladung des Adsorbens in diesem Fall bestimmt, ob in erster Linie die Kationen oder die Anionen des Geschmackselektrolyten adsorbiert werden, muss auch die Frage nach der eventuellen Ladung des Adsorbens des Geschmackssystems und ihrem Vorzeichen behandelt werden; da es aber für das folgende Verfahren gleichgiltig ist, ob diese Ladung positiv oder negativ, oder ob das Adsorbens neutral ist, gehe ich auf diese Frage erst später ein.

19. Über die Adsorption der anorganischen Neutralsalze, die ich bei diesen Bestimmungen gebraucht habe, ist uns bekannt, dass sie unter Befolgung der gewöhnlichen Adsorptionsgleichung stattfindet [1]. Sie werden im Vergleich mit manchen organischen Stoffen in sehr geringer Menge adsorbiert. Die Versuche Kellners [2] über die Adsorption der Salze von Alkalimetallen und Leichtmetallen machen es wahrscheinlich, dass dieselben aus äquimolekularen Lösungen in gleich grosser Menge adsorbiert werden. Die Adsorptionskonstanten α und auch $\frac{1}{n}$ dieser Stoffe wären also hiernach untereinander gleich gross. Was den Wert des Adsorptionsexponenten betrifft, hat Levites [3] gezeigt, dass für neutrale Salze bei Anwendung von Gelatine als Adsorbens $\frac{1}{n} = 1$ ist, d. h. die adsorbierte Menge ist eine lineare Funktion der Konzentration. (Zu bemerken ist, dass das Vermögen der Neutralsalze, die Oberflächenspannung an der Grenzfläche Wasser—Luft zu verändern, ebenfalls eine lineare Funktion der Konzentration darstellt) [4].

Da bei der Anwendung verschiedener Adsorbentien die Werte von α für verschiedene zu adsorbierende Substanzen stets propor-

---

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 166.
[2] Freundlich, Kapillarchemie, S. 354.
[3] Levites, Kolloid. Zeitschr. 9, S. 1; 1911.
[4] Freundlich, Kapillarchemie, S. 61.

tional sind, ist es wahrscheinlich, dass die Werte von α für neutrale Salze auch im Geschmackssystem gleich gross sind, und da der Wert von $\frac{1}{n}$ im allgemeinen sehr wenig variiert, dürfen wir bis auf weiteres annehmen, dass er für diese Salze auch im Geschmackssystem = 1 ist [1].

Hiernach wird also die bei der Schwelle des Geschmacks geltende Gleichung für Neutralsalze die folgende Gestalt erhalten:

$$D \,.\, c_r = \text{Const.}$$

20. Ich habe die Schwellenkonzentration des Geschmacks für einige Salze von Alkalimetallen bestimmt, um die Giltigkeit dieser Formel nachzuprüfen. Mit der obenerwähnten Versuchsmethode konnte man die Konzentration mit einer 0,00025 molaren Genauigkeit bestimmen. Die Resultate der Bestimmungen sind in den Tabellen 2 und 2 a zusammengestellt. In der zweiten Kolumne D finden sich die für 18° berechneten Diffusionskoeffizienten der Elektrolyte, in der dritten, c_r die Schwellenkonzentrationen.

Tabelle 2.

	D	c_r	$D \,.\, c_r$
KNO_3	1,41	0,0047	0,0066
$NaNO_3$	1,14	0.0052	0.0059
KBr	1,47	0,0048	0,0071
NaBr	1,18	0,0056	0,0066
LiBr	1,00	0,0069	0,0069
KCl.	1,4[illegible]	0,0071	0,010
NaCl	1,17	0,0074	0,0087
LiCl	1,00	0,0083	0,0083
NH_4Cl.	1,45	0,0047	0,0068

Tabelle 2 a.

	D	c_r	$D \,.\, c_r$
KCl.	1,46	0,0078	0,0114
NaCl	1,17	0,0095	0,0111
LiCl	1,00	0,0115	0,0115

[1] Später werde ich die Berechnungen ohne diese Annahme ausführen.

Da der Diffusionskoeffizient der Elektrolyte umso grösser ist, je schneller ihre Ionen wandern, und bei den von mir angewandten Elektrolyten die Anionen sämtlich eine ziemlich gleich grosse Wanderungsgeschwindigkeit besitzen, bestimmt also die Geschwindigkeit des Kations in erster Linie die relativen Diffusionsgeschwindigkeiten.

Die Wanderungsgeschwindigkeit der obigen Kationen ist abnehmend in der Reihenfolge K^+, Na^+, Li^+, weshalb wir von vornherein vermuten dürfen, dass der Diffusionskoeffizient in der Gruppe jedes Anions in derselben Reihenfolge herabgehen muss. Da $D . c_r$ konstant sein wird, müsste mithin in der Gruppe jedes Anions die Schwellenkonzentration des Geschmacks in derselben Reihenfolge zunehmen, und so verhält es sich ja auch, wie wir aus den Tabellen ersehen. Diese allgemeine Durchmusterung zeigt schon, dass die von uns aufgestellte Gleichung wenigstens annähernd in der Gruppe jedes Anions Gültigkeit hat.

Aus der vierten Kolumne ersehen wir, dass das Produkt $D . c_r$ wirklich bei allen Substanzen, auch unter den verschiedenen Anionengruppen, ziemlich gleich gross ist. Bei den Nitraten und Bromiden sind die Werte für $D . c_r$ fast vollständig gleich gross, bei den Chloriden sind sie etwas grösser. Die eventuelle Ursache dazu ist schwer zu eruieren.

In Tabelle 2 a sind die Schwellenkonzentrationen in einer mehrere Monate später ausgeführten Versuchsreihe bestimmt; sie sind höher, was sich wohl von der geringeren Empfindlichkeit des Geschmacksorgans zu der Zeit herrührt, aber die Grössenordnung ist dieselbe, und das Produkt $D . c_r$ ist bei allen Salzen gleich gross.

21. Aus der Gleichung $D . c_r = \text{Const.}$ erhalten wir

$$c_r = \frac{\text{Const.}}{D},$$

und wenn wir hierein den Wert von $\frac{1}{D}$, ausgedrückt mit Hilfe der Wanderungsgeschwindigkeiten U und V des Kations und des Anions, also $\frac{1}{D} = \left(\frac{1}{U} + \frac{1}{V}\right) \frac{1}{R . T}$, einsetzen, wird

$$c_r = \left(\frac{1}{U} + \frac{1}{V}\right) \frac{\text{Const.}}{R . T}.$$

Die Schwellenkonzentration des Geschmacks bei Alkalisalzen ist also eine additive Funktion der inversen Werte der Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen.

Aus Tabelle 3 ersehen wir, dass die Schwellenkonzentration wirklich eine additive Eigenschaft ist.

Tabelle 3.

	Li		Na		K	
NO_3			0,0052		0,0047	
				0,0004		0,0001
Br	0,0069		0,0056		0,0048	
		0,0014		0,0018		0,0023
Cl	0,0083		0,0074		0,0071	

	Cl		Br		NO_3	
K	0,0071		0,0048		0,0047	
		0,0003		0,0008		0,0005
Na	0,0074		0,0056		0,0052	
		0,0009		0,0013		
Li . . . . . . ,	0,0083		0,0069			

22. Im Vorhergehenden haben wir $\frac{1}{n} = 1$ gesetzt; ohne diese Annahme entwickelt sich die Sache folgendermassen.

Da aus äquimolaren Lösungen von Alkalisalzen gleich grosse Mengen der verschiedenen Salze adsorbiert werden, haben in den Formeln dieser Salze α und $\frac{1}{n}$ überall dieselben Werte.

Bei dem Schwellenwert des Geschmacks müssen die in der Zeiteinheit adsorbierten Mengen gleich gross sein:

$$D_1 \,.\, c_1^{\frac{1}{n}} = D_2 \,.\, c_2^{\frac{1}{n}} = D_3 \,.\, c_3^{\frac{1}{n}} = \ldots \ldots,$$

woraus wir erhalten

$$c_1 : c_2 : c_3 : \ldots \ldots = \left(\frac{1}{D_1}\right)^n : \left(\frac{1}{D_2}\right)^n : \left(\frac{1}{D_3}\right)^n : \ldots \ldots$$

Ob die experimentell ermittelten Werte von c dieser Gleichung genügen, kann man so untersuchen, dass man die Werte von c und $\frac{1}{D}$ logarithmiert und die Ergebnisse in ein Koordinatensystem einsetzt. Die, die entsprechenden Werte vertretenden Punkte müssen, wenn der Gleichung genügt wird, auf einer Geraden liegen, für die der Wert des Winkelkoeffizienten n ist, wenn die Logarithmenwerte

von $\frac{1}{D}$ auf der Abszisse und die Logarithmen von c in der Richtung der Ordinate gelegt werden.

In Fig. 1 ist dies mit den obigen Alkalisalzen ausgeführt. In dem ersten Koordinatensystem (I) finden sich die mit den Nitraten, in dem zweiten (II) die mit den Bromiden und im dritten (III) und vierten (IV) die in der früheren und späteren Serie mit den Chloriden gewonnenen Ergebnisse. Die Punkte liegen fast auf einer Geraden.

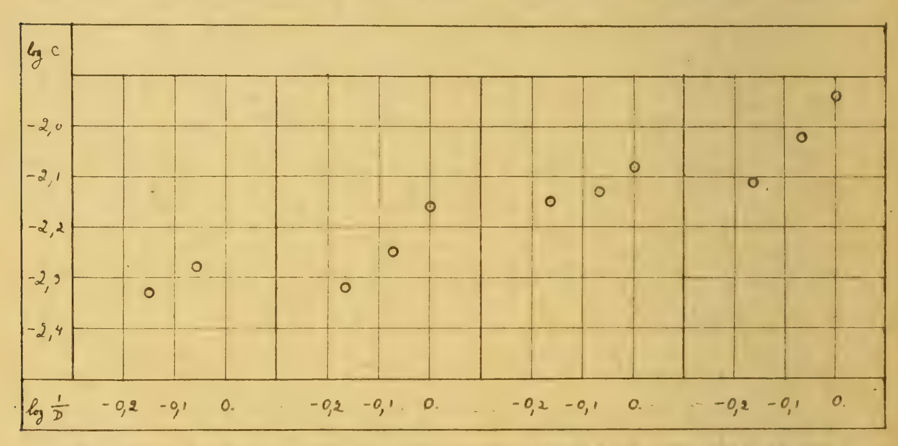


Fig. 1. — I. Nitrate. II. Bromide. III. Chloride I. IV. Chloride II.

In dem zweiten und vierten Koordinatensystem ist der Winkelkoeffizient der Geraden näherungsweise 1. Bei den Bromiden und späteren Chloriden wäre also hiernach $\frac{1}{n} = 1$ (näherungsw.). Bei den Nitraten und früheren Chloriden ist der Winkelkoeffizient dagegen < 1, mithin $\frac{1}{n} > 1$. Hieraus folgt natürlich, dass der Wert von $D . c_r$ in der Gruppe der Bromide und der späteren Chloride konstant ist, aber, wie wir aus den Tabellen 2 und 2 a ersehen, bei den Nitraten und den früheren Chloriden mehr variiert.

Der Fig. 1 entnehmen wir ferner, dass die, die Nitrate vertretenden Punkte in ihrem Koordinatensystem weiter unten liegen als die, die Bromide vertretenden und diese weiter unten als die für die Chloride eingezeichneten. Dies zeigt, dass die Werte von α bei den Nitraten und Bromiden grösser sind als bei den Chloriden; die Nitrate und Bromide werden im Geschmackssystem in grösserer Menge adsorbiert als die Chloride.

Bei Elektrolyten, die ein gemeinsames Anion haben, ist also die Adsorption im Geschmackssystem vermutlich gleich gross, aber sie ist bei Salzen mit verschiedenen Anionen verschieden gross. Die Grösse der Adsorption wird also hauptsächlich von dem Anion bestimmt.

Ebenso verhält es sich auch bei dem System Wasser—Luft und auch bei dem System Wasser—Quecksilber [1]. Das vorliegende Verfahren liess ausserdem erkennen, dass der Adsorptionsexponent $\frac{1}{n}$ bei diesen Elektrolyten wahrscheinlich etwa 1 ist, wovon natürlich auch die Additivität der Schwellenkonzentration des Geschmacks herrührt.

23. Die Schwellenempfindung des Geschmacks dauert nur einen Moment; als ihren Reiz ist man daher auch berechtigt den Prozess der Adsorptionsgeschwindigkeit während des ersten Moments anzusetzen, woraufhin denn auch die Schwellenformel des Geschmacks abgeleitet ist.

Bei höherer Konzentration der zu schmeckenden Substanzen dauert die Geschmacksempfindung längere Zeit an, wobei sie immer schwächer wird, ein Verhalten, dem auch die Abschwächung des Reizes, die Abnahme der Adsorptionsgeschwindigkeit entspricht.

Eine Geschmacksempfindung, die stärker ist als die Schwellenempfindung, hat also keine konstante Intensität; vergleichen wir aber die Grade verschiedener Geschmacksempfindungen miteinander, so benutzen wir dabei als Masstab wahrscheinlich die Empfindung während des ersten Moments, die am intensivsten und deutlichsten ist.

Hiernach dürften wir also erwarten, dass gleich starken Geschmacksempfindungen gleich grosse Adsorptionsgeschwindigkeiten während des ersten Moments des Prozesses entsprechen. Bei den oben angewandten Elektrolyten müsste also das Produkt $D \cdot c_r$, wenn wir auch höhere Konzentrationen benutzen, konstant sein.

Bei Lösungen von 0,068 n. KCl, 0,084 n. NaCl und 0,1 n. LiCl ist dieses Produkt gleich gross. Der Geschmack dieser Lösungen ist ziemlich gleich intensiv, obwohl es recht schwierig ist, sie mit einander zu vergleichen, weil die Qualität verschieden ist. Aber in gleich konzentrierten, 0,1 n. Lösungen dieser Salze ist der Geschmack des KCl deutlich stärker als der des NaCl und dieser wieder stärker als der des LiCl, wie es ja auch zu erwarten ist.

---

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 188.

24. Da es bei der elektrischen Adsorption von dem Vorzeichen der elektrischen Ladung des Adsorbens abhängt, ob vorzugsweise die Kationen oder die Anionen des Elektrolyten absorbiert werden, versuchen wir auch darüber ins klare zu kommen, ob das Adsorbens im Geschmackssystem positiv oder negativ geladen, oder ob es vielleicht elektrisch neutral ist.

In Bezug auf die vorstehend referierten Bestimmungen ist es ganz gleichgültig, ob das Absorbens positiv oder negativ ist, denn es ist ja natürlich, dass in beiden Fällen gleich grosse Mengen der verschiedenen Salze in Betracht kommen, wenn die Adsorptionen und die elektrischen Potentiale gleich gross sein müssen. Elektrisch neutral kann das Adsorbens des Geschmackssystems ebenfalls sein, obwohl die Gewebe im allgemeinen schwach geladen sind und irgendein organischer Teil des Geschmacksorgans natürlicherweise das Adsorbens des Geschmackssystems darstellt.

Man könnte sich denken, dass das Adsorbens des Geschmackssystems eine Eiweisssubstanz sei. Die Eiweisssubstanzen sind im allgemeinen fast neutral, manchmal schwach negativ [1]. Verschiedene Forscher sind zu dem Ergebnis gelangt, dass manche Proteine amphotere Elektrolyte sind, welche eine grössere Säuredissoziationskonstante als Basendissoziationskonstante haben, also schwach sauer sind [2].

Auf diesem Wege erhalten wir also keine bestimmte Auffassung über die Ladung im Adsorbens des Geschmackssystems. In der Tat ist es ja aber auch sehr unwahrscheinlich, dass das Adsorbens in einem Eiweissstoff bestände.

Am natürlichsten hat man als Adsorbens die sog. Geschmackszellen der Geschmackskörperchen, in erster Linie höchst wahrscheinlich ihre feinen Spitzen sowie die feinen, an der Oberfläche der Geschmackszellen sich hinschlängelnden Endigungen des Geschmacksnerven aufzufassen. Das eigentliche Adsorbens würde alsdann von dem äussersten Teile der Geschmackszellen, von ihrer Membran gebildet werden, die ebenso wie die Nerven in grosser Menge Lipoide, Lezithin und Cholesterin, enthält.

Porges und Neubauer [3] haben nun nachgewiesen, dass sich das Lezithin wie ein Eiweisstoff und dass Cholesterin wie

---

[1] R. Höber, Zur Kenntnis der Neutralsalzwirkungen. Hofmeisters Beiträge zur chemischen Physiologie und Pathologie, 11, S. 50; 1908.

[2] T. Oryng, Untersuchungen über die Zustandsänderungen der Eiweisskörper. Koll. Zeitschr. 17, S. 14; 1915.

[3] Porges u. Neubauer, Biochem. Zeitschr. 7, S. 152; 1907.

ein saures Suspensoid verhält. Lezithin und Cholesterin können miteinander eine Kolloidverbindung eingehen, und Höber hat auch auf die eventuelle Bedeutung der Eigenschaften dieses Kolloides für diejenigen Prozesse, die zwischen der Zelle und der sie umgebenden Flüssigkeit stattfinden, aufmerksam gemacht.

Ferner sei auf die Uutersuchungen hingewiesen, die Höber[1] über die Einwirkung der Neutralsalze auf kolloide Systeme angestellt hat. Er hat gezeigt, dass die sog. lyotrope Wirkung der Neutralsalze in kolloiden Systemen in hohem Grade von der Reaktion des Systems abhängig ist. In einem sauern System ist die Reihenfolge, in der die verschiedenen Ionen wirken, gerade umgekehrt wie in einer basischen. Bei fast neutraler Reaktion ist die Wirkungsfolge der verschiedenen Ionen unbestimmt. In basischen Systemen, also auch, wenn das Adsorbens des Geschmackssystems negativ geladen ist, ist die lyotrope Wirkungsfolge der Ionen, z. B. die koagulierende Kraft und wahrscheinlich auch die Adsorbierbarkeit,

$$K > Na > Li,$$
$$Cl > Br > NO_3.$$

Von den Schwellenkonzentrationen des Geschmacks sind bei diesen Salzen die Werte der K-Salze am niedrigsten, die der Li-Salze am höchsten. Wenn wir versuchen wollten, dies mittels der lyotropen Wirkung dieser Salze auf das Geschmackssystem zu erklären, könnten wir also sagen, es rühre davon her, dass die K-Salze die kräftigste, die Li-Salze die schwächste lyotrope Wirkung ausüben, wie es nach dem obigen bei einem basischen System auch sein muss. Da aber die Chloride derselben Kationen die höchste Schwellenkonzentration, die Nitrate die niedrigste hatten, würde die lyotrope Wirkung gegenüber den Anionen nicht der obigen Regel entsprechen, sondern sie wäre vielmehr gerade die umgekehrte.

Wäre hinwieder das Adsorbens des Geschmackssystems positiv, so müsste die lyotrope Wirkung die entgegengesetzte sein. Die Rolle der Kationen im Geschmackssystem würde alsdann mit der lyotropen Wirkungsfolge im Widerspruch stehen.

Fassen wir schliesslich das Adsorbens des Geschmackssystems als neutral auf, so müsste die Wirkungsfolge der Ionen unbestimmt

---

[1] Loc. cit. S. 120.

sein, oder bei niedriger Konzentration der Elektrolyte in derselben Richtung gehen wie in einem sauern System.

Die Grössenfolge der Schwellenkonzentrationen des Geschmacks ist jedoch nicht unbestimmt, sondern im Gegenteil ausserordentlich bestimmt, sodass wir auch bei dieser Annahme über die Natur des Adsorbens des Systems keine befriedigende Erklärung für die Grösse der Schwellenkonzentrationen gewinnen.

Da sich die lyotrope Wirkung der Elektrolyte nur bei ihrer Einwirkung auf Emulsionskolloide, nicht auf Suspensionskolloide äussert, ist es also wahrscheinlich, dass das Adsorbens des Geschmackssystems kein Emulsionskolloid, sondern eher ein Suspensionskolloid ist. Wie wir sehen, steht diese Anschauungsweise ebenfalls nicht mit dem Lipoidcharakter der wahrscheinlichsten Adsorbentien des Systems, der Zellmembranen oder Nervenendigungen, im Widerspruch.

25. Die Emulsions- und Suspensionskolloide unterscheiden sich in ihrem Verhältnis zu den Salzen verschiedenwertiger Kationen. Die Wirkung dieser Salze auf den Suspensionskolloiden (negativen) ist deutlich von der Wertigkeit der Kationen abhängig; die dreiwertigen Salze haben eine stärkere koagulierende Wirkung als die zweiwertigen und diese wiederum eine stärkere als die einwertigen. Nach der adsorptionstheoretischen Auffassung Freundlichs[1] hängt es damit zusammen, dass die verschiedenwertigen Ionen um eben Koagulation hervorzubringen in äquivalenten Mengen adsorbiert werden müssen; und mit der Voraussetzung, dass die verschiedenwertigen Leichtmetallsalze in äquimolaren Lösungen gleich stark adsorbiert werden, hat Freundlich auch gezeigt, dass diese Betrachtungsweise gut die diesbezüglichen Erscheinungen und Verhältnisse erklärt.

In ihrem Verhältnis zu den Emulsionskolloiden hat die Wertigkeit der Salze keine so entscheidende Bedeutung. Die ein- und die zweiwertigen Salze wirken ungefähr gleichschwach, die dreiwertigen stärker.

Ich habe die Schwellenkonzentration des Geschmacks für zwei zweiwertige und ein dreiwertiges Salz bestimmt. In Tabelle 4 sind die Versuchsresultate. Wir sehen dass die Schwellenkonzentration für $BaCl_2$ und $CaCl_2$ schon viel niedriger ist als diejenigen der Alkalisalze, und für $AlCl_3$ ist die Konzentration am niedrigsten. Die Wertigkeit der Salze hat also hier eine entscheidende Bedeutung, was nach meiner Meinung die Auffassung vom Suspensions-

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 354.

Tabelle 4.

	c_r
LiCl	0,0115
NaCl	0,0095
KCl	0,0078
$CaCl_2$	0,0020
$BaCl_2$	0,0020
$AlCl_3$	0,00045

charakter des Adsorbens des Geschmackssystems unterstüzt. Dabei zeigt es sich, dass für diese verschiedenwertigen Elektrolyte beim Schwellenwert des Geschmacks, ausser der Adsorptionsgeschwindigkeit auch elektrische Erscheinungen eine Bedeutung haben. Da die Verhältnisse hierdurch allzu kompliziert werden, dürfte es schwer sein, von diesen Bestimmungen wenigstens quantitative Schlüsse zu ziehen.

Schliesslich ist noch die Frage nach dem Geschmack der Säuren und Basen zu berühren.

Ich habe die Schwellenkonzentration des Geschmacks für einige anorganische Säuren und Basen bestimmt. Die Werte sind in der folgenden Tabelle 5 gegeben. Die Schwellenkonzentration der Säuren

Tabelle 5.

	c_r
HCl	0,00025
HNO_3	0,00029
KOH	0,0012
NaOH	0,0012

ist danach ausserordentlich niedrig, ebenso die der Basen. Es ist wahrscheinlich, dass diese Substanzen eine chemische Wirkung auf das Geschmacksorgan ausüben; sind ja die in den Zellmembranen und Zellen vorhandenen Eiweissstoffe amphotere Elektrolyte, welche sowohl saure als basische Radikale enthalten und daher sowohl mit den Basen als mit den Säuren reagieren. Diese wahrscheinlich stattfindenden chemischen Reaktionen können die niedrigen Schwellenkonzentrationen der

Säuren und Basen erklären. Ausserdem ist aber zu beachten, dass die Säuren und Basen im allgemeinen in höherem Masse als die Neutralsalze auf die Veränderung der Oberflächenspannung einwirken und im allgemeinen stärker adsorbierbar sind[1]. Auch dies liefert vielleicht zum Teil eine Erklärung für die geringe Grösse der Grenzwerte bei denselben.

III. Die Schwellenempfindung des Geschmacks bei homologen und isomeren Verbindungen.

26. Duclaux hat gezeigt, dass wenn bei einer Lösung zweier homologen Alkohole oder Säuren die Oberflächenspannung gleich gross ist, das Verhältnis ihrer Konzentrationen konstant und vom Grösse der Oberflächenspannung unabhängig ist.

Analytisch kann man dies mit Hilfe der folgenden Gleichung ausdrücken:

$$c = b \,.\, f(\gamma),$$

wo c die Konzentration der Lösung eines homologen Gliedes der Reihe bedeutet, b eine Konstante, die bei jedem Glied der Reihe einen verschiedenen Wert hat, und $f(\gamma)$ eine Funktion der Oberflächenspannung γ, welche Funktion bei der ganzen homologen Reihe dieselbe ist.

Nach Gibbs gilt für das Verhalten zwischen der Adsorption einer Substanz, der Oberflächenspannung und der Konzentration folgende Gleichung:

$$u = -\frac{c}{R\,.\,T} \cdot \frac{d\gamma}{dc},$$

wo u die adsorbierte Menge Substanz, c die Konzentration der Substanz und γ die Oberflächenspannung ist.

Aus der Duclauxschen Formel erhalten wir nun durch Differentiation nach γ:

$$\frac{dc}{d\gamma} = b \,.\, f'(\gamma),$$

und durch Division der ursprünglichen Formel hiermit:

$$c \,.\, \frac{d\gamma}{dc} = \frac{f(\gamma)}{f'(\gamma)}.$$

Setzen wir dies in die Formel von Gibbs ein, so erhalten wir:

$$u = -\frac{f(\gamma)}{R\,.\,T\,.\,f'(\gamma)}.$$

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 188.

Da bei den Homologen, wenn die Oberflächenspannung ihrer Lösungen gleich gross ist, auch $f(\gamma)$ und $f'(\gamma)$ gleich gross sind, ist die adsorbierte Menge u bei ihnen gleich gross, wenn die Temperatur T dieselbe ist. Also nach Neidle[1]

$$(u_1)_{\gamma,T} = (u_2)_{\gamma,T}.$$

Bei Elektrolyten, wo noch der van't Hoffsche Faktor i zu berücksichtigen ist, erhalten wir nach Neidle

$$\left(\frac{u_1}{u_2}\right)_{\gamma,T} = \frac{i_2}{i_1}.$$

In Worten ausgedrückt: in wässerigen Lösungen von homologen Säuren (Fettsäuren) sind die adsorbierten Mengen, wenn die Oberflächenspannung und die Temperatur dieselben sind, umgekehrt proportional dem van't Hoffschen Faktor i, und in Lösungen von homologen Alkoholen ist die Adsorption unter diesen Verhältnissen gleich gross.

Weil zwischen Oberflächenspannung und Konzentration die Exponentialgleichung

$$\gamma = s \,.\, c^{\frac{1}{n}}$$

gilt, wo γ die Differenz der Oberflächenspannungen der reinen Lösungsflüssigkeit und der Lösung bedeutet, erhalten wir auch

$$c = \left(\frac{\gamma}{s}\right)^n.$$

Nach Duclaux ist bei den Homologen, wenn die Oberflächenspannung γ gleich gross ist, das Verhältnis der Konzentrationen c konstant, sodass also nach dieser Gleichung der Exponent n in der ganzen Reihe gleichwertig sein muss. Ebenso muss das Verhältnis der Koeffizienten α zweier aufeinander folgenden Glieder der Reihe konstant sein.

Wir erhalten nämlich aus der obigen Gleichung, wenn wir das Verhältnis der gleich grossen Oberflächenspannungen entsprechenden Konzentrationen mit K bezeichnen und durch die Indices 1 und 2 zwei Glieder der Reihe andeuten,

$$K \,.\, \frac{s_1^{n_1}}{s_2^{n_2}} = \frac{\gamma^{n_1}}{\gamma^{n_2}}.$$

s_1, n_1, s_2, n_2 sind Konstanten, die linke Seite der Gleichung ist mithin immer gleich gross, welches auch die Oberflächenspannung sei. Die

[1] Neidle, Journ. Amer. Chem. Soc. 37, S. 513; 1915.

rechte Seite muss folglich ebenfalls konstant und von dem Werte von γ unabhängig sein. Sie erfüllt diese Bedingung, wenn

$$n_1 = n_2 = \ldots = n.$$

Beachten wir dies, so erhalten wir aus der vorhergehenden Gleichung

$$\frac{s_1}{s_2} = \left(\frac{1}{K}\right)^{\frac{1}{n}}.$$

Das Verhältnis von s_1 zu s_2 ist also konstant.

Diese Formeln, die inhaltlich mit derjenigen von Duclaux zusammenfallen, aber unter Benutzung der Exponentialgleichung der Oberflächenspannung abgeleitet sind, lauten also in Worten ausgedrückt:

In homologen Reihen ist der Oberflächenspannungsexponent aller Glieder gleich gross und das Verhältnis der Konstanten s der aufeinander folgenden Glieder konstant.

Für aufeinander folgende Glieder einer Reihe gilt also folgende Formel:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \ldots : s_m = 1 : K^{\frac{1}{n}} : K^{2 \cdot \frac{1}{n}} : \ldots : K^{(m-1)\frac{1}{n}}.$$

Die Abhängigkeit der adsorbierten Substanzmenge von der Konzentration wird durch die Exponentialgleichung

$$u = \alpha . c^{\frac{1}{n}}$$

bestimmt. In dieser Gleichung ist der Exponent $\frac{1}{n}$ derselbe wie in der Exponentialgleichung der Oberflächenspannung; α und s sind direkt proportional [1]. In einer homologen Reihe also:

$$\alpha_1 : \alpha_2 : \alpha_3 : \ldots : \alpha_m = s_1 : s_2 : s_3 : \ldots : s_m.$$

27. Nach der von uns zugrunde gelegten theoretischen Auffassung des Geschmacks müssen die Adsorptionsgeschwindigkeiten der Schwellenempfindungen des Geschmacks bei verschiedenen Gliedern der homologen Reihe gleich gross sein:

$$D_1 . \alpha_1 . c_1^{\frac{1}{n}} = D_2 . \alpha_2 . c_2^{\frac{1}{n}} = D_3 . \alpha_3 . c_3^{\frac{1}{n}} = \ldots = D_m . \alpha_m . c_m^{\frac{1}{n}},$$

woraus:

$$c_1 : c_2 : c_3 : \ldots : c_m = \left(\frac{1}{D_1 \alpha_1}\right)^n : \left(\frac{1}{D_2 \alpha_2}\right)^n : \left(\frac{1}{D_3 \alpha_3}\right)^n : \ldots : \left(\frac{1}{D_m \alpha_m}\right)^n.$$

---

[1] Vgl. S. 103.

Unter Berücksichtigung der Gleichungen, welche die Beziehungen von α mittels s und dessen Beziehungen mittels K und $\frac{1}{n}$ ausdrücken, erhalten wir:

$$c_1 : c_2 : c_3 : \ldots : c_m = \left(\frac{1}{D_1}\right)^n : \frac{1}{K}\left(\frac{1}{D_2}\right)^n : \frac{1}{K^2}\left(\frac{1}{D_2}\right)^n : \ldots : \frac{1}{K^{m-1}}\left(\frac{1}{D_m}\right)^n,$$

sowie für Elektrolyte:

$$c_1 : c_2 : c_3 : \ldots : c_m = \left(\frac{i_1}{D_1}\right)^n : \frac{1}{K}\left(\frac{i_2}{D_2}\right)^n : \frac{1}{K^2}\left(\frac{i_3}{D_3}\right)^n : \ldots : \frac{1}{K^{m-1}}\left(\frac{i_m}{D_m}\right)^n.$$

Für die Duclauxsche Formel ist experimentell nachgewiesen worden, dass sie für wässerige Lösungen von homologen Alkoholen und Fettsäuren Geltung hat, wobei die Oberflächenspannung auf der Grenzfläche wässerige Lösung—Luft gemessen wurde [1].

Im Geschmackssystem ist die eine Phase die wässerige Lösung der betreffenden Substanzen, die andere aber ist das feste oder vielleicht flüssigfeste Adsorbens des Geschmackssystems, welches dieses auch sein mag.

Ich habe in der Litteratur nach Angaben über die Adsorption von homologen Verbindungen bei festem Adsorbens gesucht, um zu sehen, ob die Duclauxsche Regel auch da gilt, und ob wir also berechtigt sind, sie auf das Geschmackssystem anzuwenden.

Freundlich [2] hat gezeigt, wie wir oben schon bemerkten, dass der Adsorptionsexponent im allgemeinen in recht engen Grenzen variiert, selbst wenn als Adsorbens und als Adsorbendum sehr verschiedene Stoffe angewendet werden. Hiernach ist es schon sehr wahrscheinlich, dass $\frac{1}{n}$ bei Homologen konstant ist, wenn sich das Adsorbens auch in einem anderen Zustand als dem gasförmigen befindet. Die folgenden Bestimmungen von Freundlich [3] zeigen denn auch, dass $\frac{1}{n}$ bei homologen Fettsäuren sehr wenig variiert, wenn als Adsorbens Kohle gebraucht wird.

---

[1] J. Traube, Liebigs Annalen, 265, S. 27; 1891. — Neidle, Journ. Amer. Chem. Soc. 37, S. 513; 1915.

[2] Freundlich, Kapillarchemie, S. 149.

[3] Freundlich, Zeitschr. f. physik. Chem. 57, S. 385; 1907.

	$\frac{1}{n}$
Ameisensäure	0,45
Essigsäure	0,47
Propionsäure	0,49
Buttersäure	0,40

Was die Konstanz des Verhältnisses der Adsorptionskoeffizienten anbelangt, hat, wie erwähnt, Freundlich dargetan, dass dasselbe bei zwei Substanzen recht konstant ist, welches das Adsorbens auch sei. Es ist erwiesen, dass Freundlichs Regel bei mehreren verschiedenartigen festen Adsorbentien gilt [1]. Auf Grund dieser Regel ist es also schon wahrscheinlich, dass in einer homologen Reihe das Verhältnis der α benachbarter Glieder auch dann konstant ist, wenn als Adsorbens ein anderer Stoff als ein gasförmiger auftritt.

Die folgenden α-Werte von Fettsäuren zeigen, dass dies in der Tat der Fall ist [2].

	α	Verhältnis
Ameisensäure	2,37	
		1,27
Essigsäure	3,00	
		1,26
Propionsäure	3,78	
		1,32
Buttersäure	4,98	

Für homologe Fettsäuren hat also bei der Anwendung so verschiedenartiger Substanzen, wie gasförmiger Luft und fester Kohle als Adsorbens, in beiden Fällen die Duclauxsche Formel Geltung. Über die Adsorption anderer Homologen habe ich in der Literatur keine Angaben gefunden.

Auf Grund des Obigen lässt sich das Ergebnis natürlich nicht unbedingt dahin verallgemeinern, dass die Duclauxsche Formel stets für alle Homologen auch bei festen Adsorbentien gälte, doch dürfen wir dies als wahrscheinlich betrachten, zumal da, wie bereits hervor-

[1] Freundlich, Kapillarchemie, S. 155.
[2] Freundlich, loc. cit. S. 127, Note 3.

gehoben, die Adsorptionserscheinungen denselben Regeln folgen, welcherlei und in welchem Zustand die Phasen des Systems auch sein mögen.

Mithin dürfte die Duclauxsche Formel auch auf das Geschmackssystem Anwendung finden. Die obigen, die Verhältnisse der Schwellenkonzentrationen des Geschmacks homologer Verbindungen bestimmenden Gleichungen, die sich auf diese Formel gründen, müssten folglich Giltigkeit besitzen.

In diesen Gleichungen tritt das Verhältnis K der Konzentrationen auf. In dem System Wasser—Luft ist dieses sowohl bei homologen Alkoholen als bei Fettsäuren $= 3$ [1]. In diesen Reihen ist also das Verhältnis der Konzentrationen zweier Glieder, des oberen und des unteren, die bei der Gruppe $m \,.\, CH_2$ voneinander abweichen, gleich $1 : 3^m$, wenn die Oberflächenspannung der Lösungen gleich gross ist. Da $K = \left(\frac{s_2}{s_1}\right)^n = \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)^n$ und $\frac{s_2}{s_1}$ sowie $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ bei verschiedenen Adsorbentien fast gleich gross sind und ebenso n von den Adsorbentien ziemlich unabhängig ist, ist es wahrscheinlich, dass der Wert von K gleichfalls von dem Adsorbens unabhängig ist und auch in anderen Systemen etwa 3 ist, wie er es in dem System Wasser—Luft war.

28. Ich habe die Schwellenkonzentrationen des Geschmacks für einige Verbindungen homologer Reihen, nämlich homologe Alkohole und Ätheralkohole, bestimmt.

Die, die Verhältnisse der Schwellenwerte des Geschmacks bestimmende Gleichung können wir in folgender Form schreiben:

$$c_1 : K \,.\, c_2 : K^2 \,.\, c_3 : \ldots : K^{m-1} \,.\, c_m = \left(\frac{1}{D_1}\right)^n : \left(\frac{1}{D_2}\right)^n : \left(\frac{1}{D_3}\right)^n : \ldots : \left(\frac{1}{D_m}\right)^n.$$

Logarithmieren wir also die Werte von c, addieren zu ihnen die Werte von $\log K$ ($K = 3$), logarithmieren ebenso die Werte von $\frac{1}{D}$ und tragen die entsprechenden Werte in ein Koordinatensystem ein, so müssen die sie vertretenden Punkte auf einer Geraden liegen.

Die Resultate der Bestimmungen finden sich in den Tabellen 6, 7 und 8. Die erste Versuchsreihe ist mit einwertigen Alkoholen ausgeführt (Tabelle 6); bestimmt sind die Schwellenkonzentrationen des Geschmacks von Methyl-, Äthyl-, Butyl- und Amylalkohol. Sie sind in der Kolumne c_m wiedergegeben. Jede Bestimmung wurde

[1] J. Traube, Liebigs Annalen, 265, S. 27; 1891.

2—3 mal gemacht, wobei jedesmal fast genau derselbe Wert erhalten wurde. In der Tabelle ist der Mittelwert der Bestimmungen angeführt. Der Diffusionskoeffizient der Substanzen in Kolumne D_m wurde mit Hilfe des Molekulargewichts aus der Exner-Öholm'schen Gleichung $D = \frac{6,9}{\sqrt{M}}$ gewonnen.

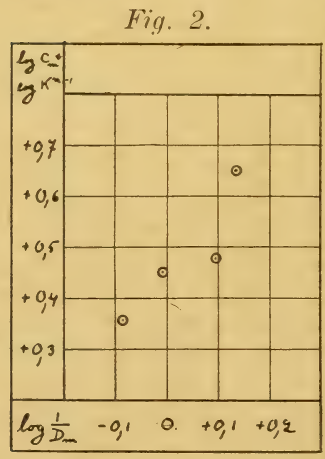
Tabelle 6.

	m	Mol. G.	D_m	c_m	$D_m(K^{m-1} . c_m)^{\frac{1}{n}}$
$CH_3 . OH$	1	32,04	1,22	2,3	2,1
$C_2H_5 . OH$ . . .	2	46,06	1,02	0,94	2,1
$C_4H_9 . OH$ . . .	4	74,10	0,80	0,11	1.7
$C_5H_{11} . OH$ . . .	5	88,12	0,74	0,055	2,1

Schon aus dem Gang der Schwellenkonzentrationen ersehen wir. dass unsere auf der Adsorptionstheorie des Geschmacks beruhende Formel, wenigstens annähernd Geltung besitzt, denn bei zunehmendem Molekulargewicht der Substanzen, also bei Abnahme der Diffusionskoeffizienten, wird die Schwellenkonzentration niedriger, und zwar, wie auch unsere Formel zeigt, recht schnell.

In Fig. 2 sind die entsprechenden Werte von log c_m + log $(3)^{m-1}$ und log $\frac{1}{D_m}$ in ein Koordinatensystem eingetragen; die Punkte liegen sehr gut auf einer Geraden, der den Butylalkohol vertretende Punkt liegt zu niedrig, die übrigen befinden sich fast vollständig auf einer Geraden. Der Winkelkoeffizient der Geraden ist ca. 1,5. Der Adsorptionsexponent bei homologen Alkoholen wäre also $\frac{1}{n} = 0,67$, was ein ganz annehmbarer Wert ist. In der letzten Kolumne der Tabelle 6 sind die Werte von $D_m (K^{m-1} . c_m)^{\frac{1}{n}}$, welche für die verschiedenen Glieder gleich gross sein sollen, berechnet. Die Übereinstimmung ist, Butylalkohol ausgenommen, gut.

Fig. 2.



In der zweiten und dritten Versuchsserie sind die Schwellenkonzentrationen

des Geschmacks von Ätheralkoholen bestimmt worden. Wie wir aus den Tabellen 7 und 8 ersehen, sind die Homologen der ersteren Reihe um eine Methylgruppe ärmer als die entsprechenden Glieder der letzteren. Die Konzentration und der Diffusionskoeffizient sind wie vorher ermittelt.

Tabelle 7.

	m	Mol. G.	D_m	c_m	$D_m(K^{m-1} \cdot c_m)^{\frac{1}{n}}$
$CH_3 . O . CH_2 . C(H)(H) - OH$	1	76,08	0,79	1,03	0,80
$CH_3 . O . CH_2 . C(H)(CH_3) . OH$	2	90,10	0,73	0,85	1,00
$CH_3 . O . CH_2 . C(CH_3)(CH_3) . OH$	3	104,12	0,68	0,34	0,98
$CH_3 . O . CH_2 . C(C_2H_5)(C_2H_5) . OH$	5	132,16	0,60	0,052	0,98
$CH_3 . O . CH_2 . C(C_3H_7)(C_3H_7) . OH$	7	160,20	0,55	0,0083	1,00

Tabelle 8.

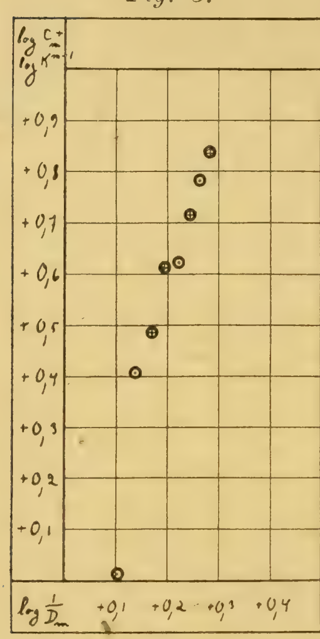
	m	Mol. G.	D_m	c_m	$D_m(K^{m-1} \cdot c_m)^{\frac{1}{n}}$
$C_2H_5 . O . CH_2 . C(H)(CH_3) . OH$	3	104,12	0,68	0,34	0,98
$C_2H_5 . O . CH_2 . C(CH_3)(CH_3) . OH$	4	118,14	0,63	0,15	1,00
$C_2H_5 . O . CH_2 . C(C_2H_5)(C_2H_5) . OH$	6	146,18	0,57	0,021	1,00
$C_2H_5 . O . CH_2 . C(C_3H_7)(C_3H_7) . OH$	8	174,22	0,52	0,0031	1,00

Aus den Tabellen ersehen wir schon, wie bei den höheren Gliedern der Reihe die Schwellenkonzentration schnell herabgeht. Kolumne m enthält die Ordnungsnummer jedes Gliedes in der Reihe. In der zweiten Reihe (Tabelle 8) habe ich als Nummer des ersten Gliedes

3 gesetzt, weil dieses Glied mit dem dritten Glied der ersten Reihe (Tabelle 7) isomer ist, und die Ergebnisse auf diese Weise in demselben Koordinatensystem am einfachsten dargestellt werden können.



Fig. 3.



Tragen wir, wie oben, die logarithmierten Werte der in den Gleichungen vorkommenden Grössen der beiden Reihen in ein Koordinatensystem ein (Fig. 3), so finden wir die entsprechenden Punkte auf einer Geraden und zwar fallen diese für die beiden Reihen zusammen.

Eine Ausnahme macht das erste Glied der ersten Reihe; der dasselbe vertretende Punkt liegt zu tief, d. h. die Schwellenkonzentration der Substanz müsste höher sein. Aber diese Verbindung ist auch kein eigentliches homologes Glied in der ersten Reihe; in der Stellung, in der die Anzahl der Methylgruppen in der Reihe zunimmt, enthält es keine einzige Methylgruppe, sondern nur ein Wasserstoffatom, weshalb es den übrigen Gliedern der Reihe nicht so nahe steht, wie diese untereinander. In der Reihe der homologen Fettsäuren nimmt die Ameisensäure die nämliche Stellung ein.

Da die Punkte beider Reihen auf derselben Geraden liegen, haben also die Glieder beider denselben Adsorptionsexponenten $\frac{1}{n}$. Dies ist auch natürlich, denn das zweite Glied der ersten Reihe und das erste Glied der zweiten, ebenso das dritte der ersten und das zweite der zweiten Reihe, usw. sind gleichfalls untereinander homolog und unterscheiden sich voneinander nur durch eine Methylgruppe. Die verbindenden Geraden der diese homologen Paare vertretenden Punkte müssen selbstverständlich parallel sein, sowohl mit der Gerade, welche die Punkte der zur ersten Reihe gehörenden, als auch mit der Gerade, welche die Punkte der zur zweiten Reihe gehörenden Glieder verbindet, d. h. die Winkelkoeffizienten n dieser Geraden müssen bei allen gleich gross sein, weil bei jedem Glied sowohl in der ersten als in der zweiten Reihe der Adsorptionsexponent $\frac{1}{n}$ natürlich immer derselbe ist.

Damit sich diese parallelen Geraden aneinander anschliessen, habe ich die zweite Reihe mit der Ordnungsnummer 3 begonnen.

Der Winkelkoeffizient der alle Substanzen vertretenden Geraden ist etwa $n = 3$. Der Adsorptionsexponent ist mithin bei allen diesen Ätheralkoholen $\frac{1}{n} = 0{,}33$, also von der gewöhnlichen Grösse. Die letzten Kolumnen der Tabellen 7 und 8 enthalten die berechneten Werte von $D_m (K^{m-1} . c_m)^{\frac{1}{n}}$; diese sind ungefähr gleich gross.

29. Die Formel der Schwellenkonzentrationen des Geschmacks nimmt bei isomeren Verbindungen schliesslich eine sehr einfache Gestalt an. Traube[1] hat gezeigt, dass, wenn die Oberflächenspannung der Lösungen isomerer Verbindungen gleich gross ist, auch deren Konzentrationen gleich gross sind. Bei ihnen ist also $K = 1$. Da die Molekulargewichte gleich gross sind, sind es auch die Diffusionskoeffizienten, und die, die Beziehungen der Schwellenkonzentrationen des Geschmacks bestimmende Formel erhält die einfache Gestalt:

$$c_1 = c_2 = c_3 = \ldots = c_m.$$

Bei isomeren Verbindungen müssten die Schwellenkonzentrationen des Geschmacks gleich gross sein.

Ich habe die Schwellenkonzentration für drei isomere Ätheralkohole ermittelt, von denen zwei in den vorhergehenden Versuchsreihen vorkommen. Aus Tabelle 9 ersehen wir, dass die Schwellenkonzentrationen wirklich gleich gross sind.

Tabelle 9.

	Mol. G.	c_m
$CH_3 . O . CH_2 . C(CH_3)(CH_3) . OH$	104,12	0,34
$C_2H_5 . O . CH_2 . C(H)(CH_3) . OH$	»	0,34
$C_2H_5 . O . CH_2 . CH_2 . C(H)(H) . OH$	»	0,34

Die Resultate der bei homologen und isomeren Verbindungen gemachten Bestimmungen können also, und zwar sogar recht gut,

[1] J. Traube, Liebigs Annalen, 265, S. 27; 1891.

durch die obigen Gleichungen zum Ausdruck gebracht werden. Da die Ableitung dieser Gleichungen, abgesehen von der Duclauxschen Formel, nur auf der Voraussetzung fusst, dass der adäquate Reiz der Geschmacksempfindung ein Adsorptionsprozess ist, sprechen meines Erachtens auch diese Bestimmungen für die hier entwickelte Anschauung.

IV. Die Unterschiedsschwelle des Geschmacks.

30. Da die Unterschiedsschwelle (U) das Verhältnis des Reizzuwachses zu dem ursprünglichen Reiz ist, wenn der Zuwachs der Zunahme der eben merklichen Empfindungsintensität entspricht, erhalten wir für die U der Geschmacksempfindung folgende Gleichung, vorausgesetzt, dass die in dem System stattfindende Adsorption den Reiz der Geschmacksempfindung darstellt:

$$U = \frac{D.\alpha.c_1^{\frac{1}{n}} - D.\alpha.c^{\frac{1}{n}}}{D.\alpha.c^{\frac{1}{n}}} = \left(\frac{c_1}{c}\right)^{\frac{1}{n}} - 1,$$

wo c und c_1 die Konzentrationen der zu schmeckenden Substanz vor und nach der Konzentrationszunahme sind.

Hier ist als Mass des Reizes die Adsorptionsgeschwindigkeit im ersten Augenblick des Vorganges benutzt; da aber, wenn man die Intensität verschiedener Empfindungen vergleicht, die Empfindung des ersten Augenblicks wahrscheinlich eine entscheidende Rolle spielt, dürfte dies einigermassen gerechtfertigt sein, wie wir auf Seite 119 auseinanderzusetzen versucht haben.

Ich habe die Unterschiedsschwelle des Geschmacks für Lithium- und Natriumchlorid festgestellt. Es zeigt sich, dass die Konzentration einer 0,025 n. Lösung von LiCl und NaCl auf 0,035 zu erhöhen ist, damit eine Verstärkung des Geschmacks merklich werden kann. Da der Adsorptionsexponent $\frac{1}{n}$ bei diesen Salzen gleich gross ist, ist mithin nach der obigen Formel U bei ihnen ebenfalls gleich gross. Wenn $\frac{1}{n} = 1$, ist $U = 0{,}4$.

Marc[1] hat gezeigt, dass der Adsorptionsexponent $\frac{1}{n}$ bei hohen Konzentrationen des Adsorbendums fast auf den Nullwert herabsinkt,

[1] R. Marc, Zeitschr. f. physik. Chem. 75, S. 710; 1911. 81, S. 641; 1913.

d. h. dass die Adsorption alsdann von der Konzentration unabhängig ist. Aus der obigen Formel erhalten wir $c_1 = (U + 1)^n . c$. Wenn $\frac{1}{n} = 0$, ist $n = \infty$ und folglich $c_1 = \infty$ oder $\frac{c_1}{c} = \infty$, d. h. bei hohen Konzentrationen macht sogar eine bedeutende Steigerung der Konzentration der zu schmeckenden Substanz die Geschmacksempfindung nicht stärker.

Die Geschmäcke von 1,00 und 2,25 n. NaCl-Lösungen lassen sich nicht auseinanderhalten, sie sind gleich intensiv, und dies ist auch mit allen höheren Konzentrationen der Fall. $\frac{c_1}{c}$ erhält mithin wirklich sehr hohe Werte.

Die Adsorptionstheorie des Geschmacks liefert also eine Erklärung dafür, dass die eben merkliche Zunahme der Geschmacksempfindung bei höheren Konzentrationen der Lösung einen relativ grösseren Konzentrationszuwachs erfordert.

Im Hinblick darauf, dass $\frac{1}{n}$ bei höheren Konzentrationen abnimmt, kann also der Ausdruck $\left(\frac{c_1}{c}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$ hier fortwährend konstant bleiben, d. h. das Webersche Gesetz kann auch Geltung behalten, wenn der Reiz stärker ist. Wenn wir nicht die Adsorption als den Reiz der Geschmacksempfindung auffassen, sondern als sein Mass nur die Konzentration hinstellen, müsste nach dem Weberschen Gesetz $\frac{c_1 - c}{c} = \frac{c_1}{c} - 1$ konstant sein. Bei höheren Konzentrationen ist dies ja aber nicht der Fall, $\frac{c_1}{c}$ wird hier sehr gross.

Betrachten wir als den Reiz der Geschmacksempfindung den Adsorptionsvorgang, so gewinnen wir damit eine befriedigende Erklärung dafür, weshalb das Webersche Gesetz bei der Geschmacksempfindung eine scheinbare obere Giltigkeitsgrenze hat. In der Tat kann dieses Gesetz auch oberhalb dieser Grenze Geltung besitzen.

V. Die Adsorption und die Dauer der Geschmacksempfindung.

31. Zur weiteren Prüfung der Annahme von der Adsorption als adäquaten Reiz des Geschmackssinnes, habe ich noch die Dauer des Geschmacks unter verschiedenen Umständen untersucht.

Die Geschwindigkeit des Adsorptionsvorganges wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{dx}{dt} = k\,(x_\infty - x),$$

wo x_∞ die im Adsorptionsgleichgewicht, nach sehr langer Zeit adsorbierte Menge, x die während der Zeit t adsorbierte Menge und k die Geschwindigkeitskonstante ist.

Durch Integration erhalten wir

$$k \,.\, t = ln \frac{x_\infty}{x_\infty - x}.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung können wir also die Zeit t bestimmen, während der eine Geschmacksempfindung andauert, wenn wir die ganze adsorbierte Menge dieser Substanz x_∞ und die Menge x festzustellen vermögen, welche während der Dauer der Geschmacksempfindung adsorbiert wird.

Für die ganze adsorbierte Menge gilt, bei Adsorptionsgleichgewicht, die Exponentialgleichung

$$x_\infty = \alpha \,.\, c^{\frac{1}{n}}.$$

Die während der Dauer t der Geschmacksempfindung adsorbierte Menge erhalten wir folgendermassen. Die Geschmacksempfindung dauert natürlich bis zu dem Moment, wo die Geschwindigkeit des Adsorptionsvorganges ebenso gross geworden ist, wie seine Geschwindigkeit beim Schwellenwert der Geschmacksempfindung ist; wenn die Geschwindigkeit auch nur ein wenig kleiner wird als jene, entsteht keine Geschmacksempfindung mehr. In dem Moment, wo die Geschmacksempfindung aufhört, ist also die Gleichung der Geschwindigkeit

$$\frac{dx}{dt} = k\,(\alpha \,.\, c^{\frac{1}{n}} - x) = k \,.\, \alpha \,.\, c_r^{\frac{1}{n}},$$

wo c_r die Schwellenkonzentration der zu schmeckenden Substanz und $k \,.\, \alpha \,.\, c_r^{\frac{1}{n}}$ die Adsorptionsgeschwindigkeit bei dieser Konzentration bedeutet.

Hieraus erhalten wir

$$x = \alpha \cdot c^{\frac{1}{n}} - \alpha \cdot c_r^{\frac{1}{n}}.$$

Setzen wir dies in die durch Integration aus der Formel der Geschwindigkeit des Adsorptionsprozesses gewonnene Formel ein und führen wir zugleich den Wert von x_∞ ein, so erhalten wir

$$k \cdot t = \frac{1}{n} \cdot ln \frac{c}{c_r},$$

oder

$$t = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{n} \cdot ln \frac{c}{c_r}.$$

Da der Geschwindigkeitskoeffizient k des Adsorptionsvorganges proportional dem Diffusionskoeffizienten D der Substanz ist ($k = \frac{D}{m}$), erhalten wir

$$t = m \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{n} \, ln \frac{c}{c_r}.$$

Diese Formel zeigt also, dass die Geschmacksempfindung umso längere Zeit andauern sollte, je grösser die Konzentration c der zu schmeckenden Substanz und je kleiner ihre Schwellenkonzentration c_r ist, je langsamer die Substanz diffundiert und je grösser ihr Adsorptionsexponent $\frac{1}{n}$ ist; alles Umstände, die schon ohne analytische Deduktion ziemlich klar sind.

32. Die Gleichung für die Dauer des Geschmacks können wir experimentell prüfen, sind ja die Dauer t der Geschmacksempfindung, die entsprechende Konzentration c und die Schwellenkonzentration c_r bestimmbar.

Die Versuche wurden an mehreren Personen angestellt. Die bestimmung von t erfolgte folgendermassen. Indem die Versuchsperson die Geschmackslösung in den Mund nahm, drückte sie zugleich auf den Knopf einer Stoppuhr; während sie die Lösung im Munde hatte, bewegte sie die Zunge langsam, und zwar bei jedem Versuch gleich schnell, hin und her, weil die Mischungsgeschwindigkeit der Zunge den Prozess beeinflussen kann, und gab genau darauf acht, wann die Geschmacksempfindung aufhörte, wobei sie wieder auf den Knopf der Uhr drückte. So wurden bei mehreren verschiedenen Konzentrationen die Dauer des Geschmacks bestimmt.

Als Versuchsobjekte dienten vier Personen, J, K, S und P. Keine von ihnen wusste etwas von dem Zweck und den Vorbedingungen der Versuche.

Die Ergebnisse der Versuche sind in den Tabellen 10—18 zusammengestellt. Die Fig. 4—13 sind die entsprechenden graphischen Darstellungen der Resultate. Wir wollen jede Versuchsreihe für sich durchgehen.

Tabelle 10. Fig. 4 und 5. Versuchsperson J. Geschmackssubstanz Rohrzucker. Angewandte Konzentrationen 0,030—1,0 n. (Die Schwellenkonzentration des Rohrzuckers ist für J nicht ermittelt, bei der Versuchsperson, mit der die vorhergehenden Bestimmungen des Schwellenwertes ausgeführt wurden, war sie 0,020). Es wurden vier Versuchsserien gemacht, in der ersten und dritten wurde die Dauer von der niedrigsten nach der höchsten Konzentration hin, in der zweiten und vierten in umgekehrter Folge bestimmt. Aus der Tabelle ersehen wir, dass die Dauer t in der Tat desto länger ist, je konzentrierter die zu schmeckende Lösung ist. Tragen wir die Mittelwerte der Dauerzeiten und die entsprechenden Konzentrationen in ein Koordinatensystem ein, so werden die entsprechende Werte vertretenden Punkte auf einer Kurve liegen, die logarithmische Form hat, wie es unsere Formel ja auch voraussetzt (Fig. 4).

Tabelle 10. Rohrzucker. Versuchsperson J.

c	t (min.) Mittelw.	t (sek.) ↓	t ↑	t ↓	t ↑
0,030	0,55	43,0	21,3	36,9	31,2
0,050	0,75	54,5	35,9	47,0	41,3
0,075	0,92	70,9	48,3	54,9	51,5
0,1	1,16	71,4	68,9	70,9	66,9
0,2	1,44	85,5	91,7	82,9	86,0
0,4	1,74	148,9	106,9	58,5	103,6
0,5	2,38	175,3	131,0	131,2	133,5
0,75	2,73	185,1	172,7	155,5	142,4
1,0	3,10	207,6	152,9	180,7	202,9

Inwiefern die von uns abgeleitete logarithmische Formel wirklich Giltigkeit hat, sehen wir am besten, wenn wir t als Funktion von $\log c$ in ein Koordinatensystem eintragen. Da $\frac{1}{k} \cdot \frac{1}{n}$ oder $m \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{n}$ konstant

ist, müssten die, die entsprechenden Werte vertretenden Punkte auf einer Geraden liegen. Aus Fig. 5 ersehen wir, dass die Punkte dieser Forderung sehr gut genügen. Der Winkelkoeffizient der Geraden ist, unter Berücksichtigung der in dem Koordinatensystem angewandten Masseinheiten, etwa 1,75.

Indem wir mit Hilfe dieser Geraden die Schwellenkonzentration des Geschmacks bestimmen, erhalten wir $c_r = 0{,}023$. Bei der Versuchsperson J ist c_r nicht direkt festgestellt, aber bei der vorhergehenden Versuchsperson war sie für Rohrzucker, 0,020, also ein Wert, der ganz derselben Grössenordnung angehört. Grössere Exaktheit ist bei der Bestimmung von c_r mit Hilfe dieser Geraden nicht zu erzielen, weil der Wert ihres Winkelkoeffizienten nur in dem Koordinatensystem gemessen ist.

Lösen wir die Gleichung der Dauer des Geschmacks für c_r auf, so finden wir

$$c_r = c \, . \, e^{-n \, . \, k \, . \, t}.$$

Dadurch dass wir also für irgendeine Konzentration c einer zu schmeckenden Substanz die entsprechende Dauer t des Geschmacks ermitteln, können wir aus dieser die Schwellenkonzentration des Geschmacks für diese Substanz berechnen, wenn wir den Adsorptionsexponenten der letzteren und den Geschwindigkeitskoeffizienten der Adsorption kennen.

Tabelle 11. Fig. 6. Versuchsperson K. Geschmackssubstanz Rohrzucker. Gang des Versuchs in allen Hinsichten wie vorher. Der Wert von c_r wird, wie wir aus dem Verlauf der Geraden t — log c sehen, ziemlich ebenso gross wie im vorhergehenden sein.

Tabelle 11. Rohrzucker. Versuchsperson K.

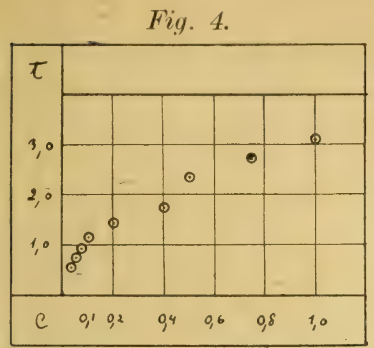
c	t (min.) Mittel.	t (sek.) ↓	t ↑	t ↓	t ↑
0,030	0,67	39,3	41,9	39,8	40,7
0,050	0,90	52,3	53,9	54,0	55,3
0,075	1,13	65,7	70,1	65,7	69,5
0,1	1,32	73,5	79,2	79,7	84,7
0,2	1,68	97,3	96,2	95,6	113,2
0,4	1,95	115,7	106,5	119,3	126,5
0,5	2,30	132,7	135,5	142,7	140,3
0,75	2,58	164,9	108,4	171,0	174,7
1,0	3,38	192,5	205,3	207,9	205,0

Tabelle 12. Fig. 7. Dieselbe Versuchsperson wie im vorhergehenden Versuch. Geschmackssubstanz Rohrzucker. Hier wurden Konzentrationen zwischen 0,030 und 2,0 angewandt. Die Versuchslösungen wurden von der Versuchsperson in ganz willkürlicher Folge in den Mund eingeführt. Die Dauer nimmt nicht ganz regelmässig mit steigender Konzentration zu; es finden sich einige Ausnahmen, was wahrscheinlich gerade darauf beruht, dass die Vergleichung bei Einführung der Lösungen ohne bestimmte Reihenfolge nicht so leicht ist, wie bei den vorhergehenden Versuchen, wo die Einnahme mit der niedrigsten oder der höchsten Konzentration beginnend in regelmässiger Folge stattfand. Die Punkte t — log c liegen fast auf einer Geraden (Fig. 7). Als Wert von c_r erhalten wir annäherungsweise denselben Wert wie vorher.

Tabelle 12. Rohrzucker. Versuchsperson K.

c	t (min.) Mittel.	t (sek.)	t	t	t
0,030	0,63	46,0	31,6	33,7	39,3
0,040	0,88	73,9	30,0	41,6	—
0,050	0,96	61,4	39,7	75,8	52,3
0,075	0,92	70,0	45,0	39,0	65,7
0,1	1,32	93,4	63,4	85,2	73,5
0,15	1,20	89,0	45,0	81,8	—
0,2	1,50	68,4	84,8	108,4	97,3
0,3	2,21	137,2	105,6	154,1	—
0,4	2,39	183,8	134,4	139,8	115,7
0,5	2,27	—	—	140,0	132,7
0,75	2,43	—	—	166,8	164,9
1,0	3,56	—	—	233,2	192,5

Fig. 4.



Geschmacksdauer als Funktion der Konzentration bei Rohrzuckerlösung.
Versuchsp. J.

g. 5. Ver-hsp. J.

g. 6. Ver-hsp. K.

g. 7. Ver-hsp. K.

τ
4 3 2 1 0.
4 3 2 1 0.
4 3 2 1
lg c -1,5 -1,4 -1,3 -1,2 -1,1 -1,0 -0,9 -0,8 -0,7 -0,6 -0,5 -0,4 -0,3 -0,2 -0,1 0.

Geschmackssubstanz Rohrzucker.

Tabelle 13 und 14 sowie Fig. 8 und 9 geben Versuchsresultate wieder, die ebenfalls mit Rohrzucker als Geschmackssubstanz bei den Versuchspersonen S und P gewonnen wurden. Die Punkte t — log c liegen bei diesem fast auf einer Geraden, bei jenem der Hauptsache nach ebenso, aber unregelmässiger. Als Wert von c_r erhalten wir ca. 0,023. (Für S 0,017, für P 0,029.)

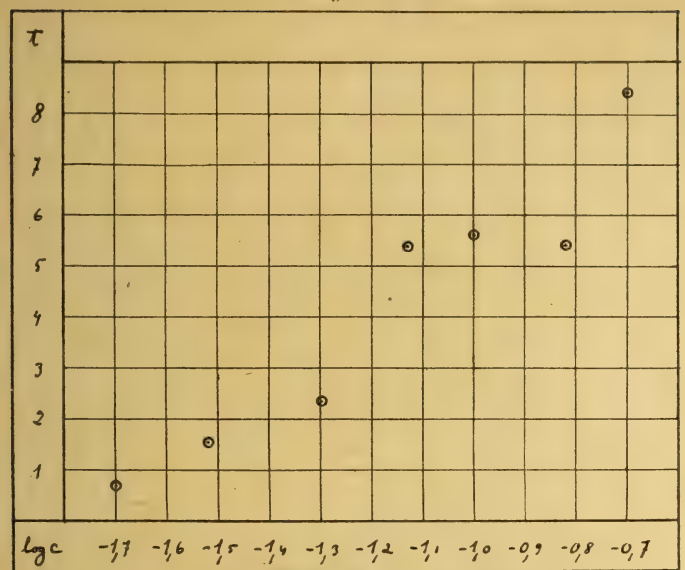
Tabelle 13. Rohrzucker. Versuchsperson S.

c	t (min.) Mittel.	(t sek.)	t
0,020	0,69	51,8	31,4
0,030	1,55	114,4	71,2
0,050	2,32	186,8	91,6
0,075	5,38	343,0	302,4
0,1	5,61	399,6	273,3
0,15	5,42	346,0	304,6
0,2	8,43	494,0	518,0

Tabelle 14. Rohrzucker. Versuchsperson P.

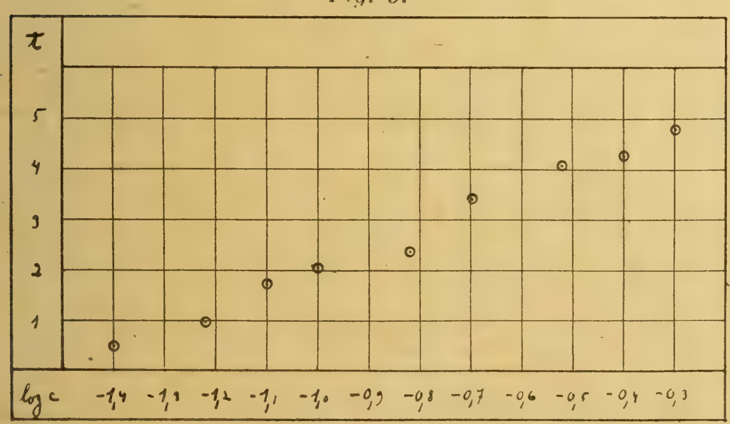
c	t (min.) Mittel.	t (sek.)	t
0,040	0,50	54,7	5,6
0,060	0,98	104,4	13,0
0,080	1,73	187,2	20,6
0,1	2,03	197,1	46,8
0,15	2,37	229,0	55,8
0,2	3,41	304,0	105,4
0,3	4,07	309,6	179,0
0,4	4,28	293,4	220,6
0,5	4,80	345,1	230,0

Fig. 8.



Versuchsp. S. Rohrzucker.

Fig. 9.



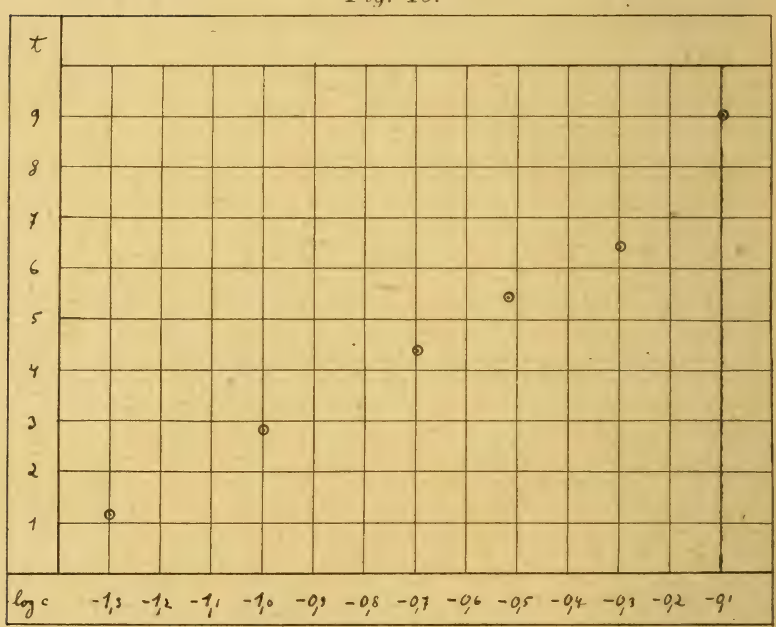
Versuchsp. P. Rohrzucker.

Tabelle 15. Fig. 10. Vorsuchsperson S. Geschmackssubstanz Harnstoff. Die Punkte t — log c liegen fast vollständig auf einer Geraden. Der Wert von c_r ist ca. 0,040.

Tabelle 15. Harnstoff. Versuchsperson S.

c	t (min.) Mittel.	t (sek.)	t
0,050	1,16	46,6	92,4
0,1	2,82	188,1	150,4
0,2	4,39	312,4	214,6
0,3	5,44	342,1	331,0
0,5	6,45	—	387,1
0,8	9,03	—	542,0

Fig. 10.



Versuchsp. S. Harnstoff.

Tabelle 16. Fig. 11. Versuchsperson P. Geschmackssubstanz Harnstoff. Die Dauerzeiten sind sehr unregelmässig und variieren bei einer und derselben Konzentration in ziemlich hohem Grade.

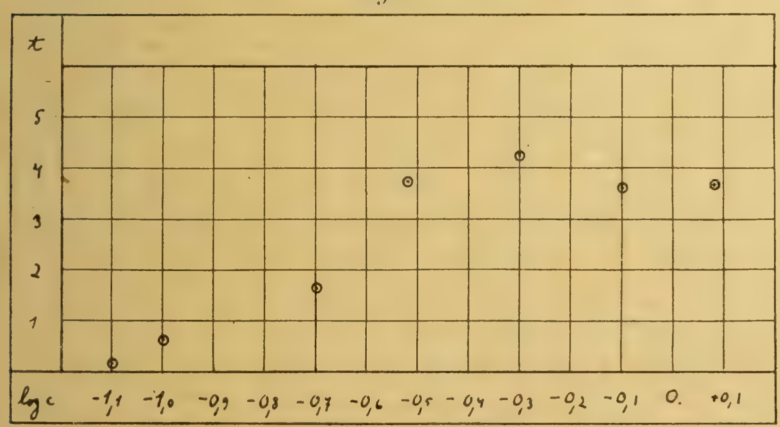
Der Versuchsperson fiel es im allgemeinen schwer, die Dauer genau anzugeben, sie zögerte beim experimentieren, und die Resultate sind denn auch bei ihr für alle Geschmackssubstanzen unregelmässig. Ihre Geschmacksempfindlichkeit war auch geringer als bei

den anderen Versuchspersonen, die Schwellenkonzentration war bei ihr höher und die Dauer kürzer als bei den anderen. Die Punkte t — log c sind recht unregelmässig gelegen, doch ist die sie verbindende Linie annähernd eine Gerade. c_r ist ca. 0,068.

Tabelle 16. Harnstoff. Versuchsperson P.

c	t (min.) Mittel.	t (sek.)	t
0,080	0,19	11,3	—
0,1	0,63	43,8	31,9
0,2	1,67	141,4	16.2
0,3	3,74	249,3	199,2
0,5	4,26	253,1	257,4
0,8	3,62	158,7	269,4
1,2	3,68	—	220,6

Fig. 11.



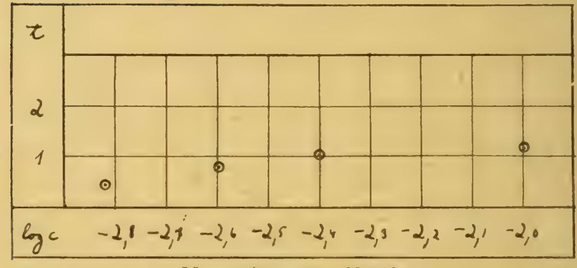
Versuchsp. P. Harnstoff.

Tabelle 17. Fig. 12. Versuchsperson S. Geschmackssubstanz KOH. Nur eine Versuchsreihe. c_r etwa 0,0004.

Tabelle 17. KOH. Versuchsperson S.

c	t (min.)
0,0015	0,47
0,0020	—
0,0025	0,81
0,0040	1,03
0,0100	1,19

Fig. 12.



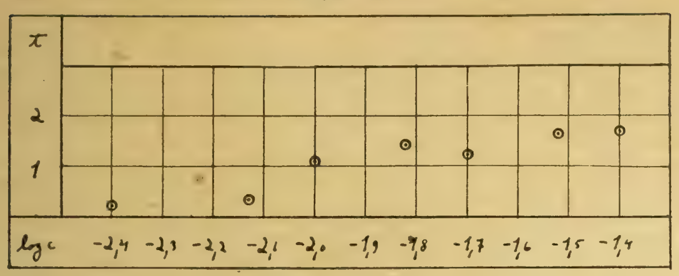
Versuchsp. S. KOH.

Tabelle 18. Fig. 13. Versuchsperson P. Geschmackssubstanz KOH. Eine Versuchsreihe. c_r etwa 0,003.

Tabelle 18. KOH. Versuchsperson P.

c	t (min.)
0,0040	0,22
0,0075	0,35
0,0100	1,10
0,015	1,43
0,02	1,24
0,03	1,65
0,04	1,70

Fig. 13.



Versuchsp. P. KOH.

33. Diese Versuche ergaben bei allen Substanzen und Versuchspersonen, dass die Dauer des Geschmacks eine logarithmische Funktion der Konzentration der Geschmackslösung ist. Dies erhellt ja daraus, dass die Kurven t — log c immer fast geradlinig verlaufen. Eine restlose Erfüllung dieser Bedingung ist natürlich nicht zu erwarten, denn solche Versuche lassen sich doch nicht mit sehr grosser Exaktheit ausführen und ausserdem ist ja die hier entwickelte Auffassung nur als eine approximative Erklärung der wesentlichsten Vorgänge beim Geschmacksprozess aufzufassen.

Berechnen wir mit Hilfe dieser Geraden die Werte der Schwellenkonzentrationen des Geschmacks der verschiedenen Substanzen, so erhalten wir als Schwellenkonzentration des Rohrzuckers für alle Versuchspersonen J. K. P. und S. ca. 0,020. Bei direkter Bestimmung fanden wir als Schwellenkonzentration des Rohrzuckers 0,020.

Die Schwellenkonzentrationen des Harnstoffes und von KOH erhalten die in der Tabelle 19 mitgeteilten Werte.

Tabelle 19.

Versuchsperson	c_r für		
	Rohrzucker	Harnstoff	KOH
S	0,02	0,01	0,0004
P	0,03	0,07	0,003
J	0,02	—	—
K	0,01	—	—

Bei der Versuchsperson P. berechnet sich also die Schwellenkonzentration für Harnstoff und Kalilauge wesentlich höher als bei der Versuchsperson S. Auch durch direkte Versuche habe ich konstatieren können, dass die Schwellenkonzentrationen bei S. tatsächlich niedriger sind als bei P.

34. In der folgenden Tabelle sind nebeneinander die direkt experimentell ermittelten Schwellenkonzentrationen des Geschmacks und die durch Berechnung erhaltenen Werte aufgeführt. Die ersteren sind allerdings bei einem anderen Individen bestimmt als die letzteren, aber die Grössenordnung der Schwellenkonzentrationen ist doch bei diesen verschiedenen Personen dieselbe, bei einigen von ihnen sind die Werte für dieselbe Substanz fast gleich gross. Da es sich hier nur um die Grössenordnung handelt, können wir diese Werte miteinander vergleichen; wir führen die Werte daher auch nur mit zwei Dezimalstellen an.

Tabelle 20.

	Rohrzucker	Harnstoff	KOH
c_r experimentell bestimmt	0,02	0,09	0,001
c_r berechnet	0,02	0,06	0,002

Die durch Berechnung ermittelten Werte sind hier Mittelwerte für S. und P.

Bei Rohrzucker sind also die Werte von c_r gleich gross, und auch bei den anderen Substanzen ist die Grössenordnung dieselbe. Mit Hilfe der Gleichung für die Dauer des Geschmacks können wir also den Wert der Schwellenkonzentration des Geschmacks approximativ berechnen.

35. Indem wir die Winkelkoeffizienten der besprochenen Geraden t — log c, d. h. den Koeffizienten der Gleichung für die Dauer des Geschmacks $\frac{1}{k} \cdot \frac{1}{n}$ bestimmen, erhalten wir die in die folgende Tabelle aufgenommenen Werte.

Tabelle 21.

Versuchs-person	Wert von $\frac{1}{k} \cdot \frac{1}{n}$ für		
	Rohrzucker	Harnstoff	KOH
S	2,9	2,8	0,42
P	1,7	1,7	0,76
J	0,75	—	—
K	0,62	—	—

Für das Rohrzucker ist $\frac{1}{n} = 0{,}11$ bei Kohle als Adsorbens [1]. Benutzen wir dafür auch hier diesen Wert und setzen für Harnstoff und KOH, deren $\frac{1}{n}$ unbekannt ist, ihren häufigsten Wert 0,3 (Mittel aus 0,1 und 0,5), so finden wir für k die in der folgenden Tabelle aufgenommenen Werte.

Tabelle 22.

Versuchs-person	Wert von k für		
	Rohrzucker	Harnstoff	KOH
S	0,04	0,1 (0,04—0,20)	0,7
P	0,06	0,2 (0,06—0,30)	0,4
J	0,15	—	—
K	0,17	—	—

Die Werte von k und des Diffusionskoeffizienten sind proportional; der Wert von k steigt bei diesen Substanzen in der Reihenfolge: Rohrzucker, Harnstoff, KOH, und in derselben Ordnung wächst auch der Diffusionskoeffizient an. Obwohl die von uns berechneten Werte von k ungenau sind, ist ausserdem zu bemerken, dass die Verhältnisse zwischen den Werten von k und den Diffusionskoeffizienten doch ziemlich gleich gross sind (Werte von k 0,05, 0,15, 0,6; Werte der Diffusionskoeffizienten 0,35, 1,10, 2,11).

[1] G. Wiegner, Koll. Zeitschr. 8. S. 126; 1911.

Lagergren[1] hat den Wert von k bei Kohle als Adsorbens für Bernstein- und Oxalsäure in wässeriger Lösung ermittelt. Die Werte von k waren da 0,036 und 0,038.

Sie sind also von derselben Grössenordnung wie die k-Werte für Rohrzucker und Harnstoff. Der Diffusionskoeffizient der Oxalsäure ist auch von dieser Grösse (0,6—1,0; Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemiche Tabellen. 1912.)

Die mit Hilfe der Gleichung für die Dauer des Geschmacks berechneten Werte des Koeffizienten der Adsorptionsgeschwindigkeit sind also ganz von derselben Grösse wie die mit den physikalischen Methoden ermittelten Werte, und doch sind diese Methoden und die den Ausgangspunkt bildenden Voraussetzungen äusserst verschieden.

36. Schliesslich muss noch hervorgehoben werden, dass KOH wahrscheinlich ebenfalls das Adsorbens des Geschmackssystems chemisch beeinflusst, sodass bei diesem Stoffe Vermutlich auch ein chemischer Vorgang auf die Dauer des Geschmacks einwirkt. Es ist daher nicht zu erwarten, dass die oben für die Dauer des Geschmacks aufgestellte Formel für diesen Stoff in demselben Umfang gälte wie für Rohrzucker und Harnstoff.

Die vorstehend referierten experimentellen Ergebnisse zeigen also, dass die Gleichung für die Dauer des Geschmacks den Vorgang des Schmeckens mit einer gewissen Genauigkeit schematisch darstellt. Die Auffassung von der Beschaffenheit des Reizes der Geschmacksempfindung, worauf sich ihre Ableitung gründete, erklärt daher die tatsächlichen Verhältnisse in befriedigender Weise.

VI. Über die Qualitäten des Geschmacks.

37. Welches der zu schmeckende Stoff auch sei, in jedem Fall finden unter seinem Einfluss im Geschmackssystem Adsorptionsvorgänge statt, während elektrische Potentialdifferenzen sich nur dann bilden können, wenn die zu schmeckende Substanz ein Elektrolyt und mithin elektrolytisch dissoziiert ist. Die meisten organischen Verbindungen sind Nichtelektrolyte, weshalb sie im Geschmackssystem keine elektrischen Potentialdifferenzen zu erzeugen vermögen.

Wir können uns denken, dass die von Elektrolyten wahrscheinlich hervorgerufenen Potentialdifferenzen zwischen den Geschmacks-

[1] Lagergren, Bihang till Kongl. Sv. Vet. Akad. Handlingar, 24,2; 1899.

zellen, ihren feinen Spitzen, oder den Geschmacksnerven und der zu schmeckenden Lösung liegen. Auch können wir uns vorstellen, dass sie zwischen der in den Geschmackskörperchen enthaltenen Flüssigkeit und der Geschmackslösung entstehen. Im ersteren Fall ist der Sitz der Potentialdifferenz die Membran der Geschmackszellen oder ihrer Spitzen oder die Oberfläche der Geschmacksnerven, im letzteren bildet sie sich am Eingang der Geschmackskörperchen, in ihrem Porus, in den die Geschmackszellen ihre feinen Spitzen vorstrecken. Wegen der Kleinheit dieses Porus, sein Durchmesser ist nur ein paar Mikren, kann durch ihn, zwischen den inner- und ausserhalb der Geschmackskörperchen befindlichen Lösungen keine Strömung stattfinden. Aller Austausch muss daher durch Diffusion erfolgen, weshalb man sich auch gerade vorstellen kann, dass ein Diffusionspotential eben hier ihren Sitz habe. Diese Potentialdifferenz ist alsdann ein reines Diffusionspotential, aber auch, wenn wir uns als ihren Sitz die Membran der Geschmackszellen oder -nerven denken, ist sie am wahrscheinlichsten durch Diffusion hervorgerufen, wie Rohonyi[1] und Girard[2] bei einigen für Ionen permeablen Membranen gezeigt haben.

Indessen behält dieses elektrische Potential die Natur des Diffusionspotentials nur kurze Zeit. Die Diffusion zwischen den Lösungen verändert dauernd auf jeden Fall ihre Grösse, und wenn eine Membran dazwischen liegt, wird ihre spezifische Wirkung, d. h. die Eigenschaft, die einen Ionen leichter durchzulassen als andere, in die Erscheinung treten.

Donnan[3] hat die Potentialdifferenz bestimmt, welche sich an Membranen bildet, wenn die Diffusion aufgehört hat und mithin auf beiden Seiten der Membran Gleichgewicht besteht. Dieses sog. Membranenpotential ist also der endgiltige Wert des Potentials.

Indes erfordert die Bildung des Membranenpotentials Zeit, und zwar soviel, als die Diffusion der Ionen durch die Membran bedarf. Diese Zeit ist wahrscheinlich nicht ganz unbedeutend, weil die auch sonst geringe Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen in dem konzen-

---

[1] Rohonyi, Biochem. Zeitschr. 66. S. 231; 1914. R. weist experimentell nach, dass die E. M. K. der Membranen Diffusionspotentiale sind, die Membran verhält sich wie ein elektrolytfreies, wässeriges Medium.

[2] Girard, Compt. rend. de l'Acad. 148, S. 1047; 1909. G. zeigt, dass eine zwischen den Lösungen in eine Konzentrationskette eingeschaltete Membran nicht auf die E. M. K. einwirkt, wenn die Elektrolyte in der Kette neutral sind.

[3] Donnan, Zeitschr. f. Elektrochem. 17, S. 572; 1911.

trierten Kolloid der Membran noch erheblich herabgesetzt wird. Ausserdem setzt die Deduktion Donnans voraus, dass sich auf der einen Seite der Membran ein Ion befindet, welches nicht durch sie hindurch dialysiert. Ob ein solches Ion im Geschmackssysten vorhanden ist, welcherlei es wäre, usw., das alles sind spezielle Annahmen, die die weitere Deduktion in hohem Grade hypothetisch machen würden. Das Diffusionspotential ist dagegen wohl auf alle Fälle das an der Grenzfläche zuerst sich bildende elektrische Potential.

Die Grösse und das Vorzeichen dieses Potentials können wir berechnen, wenn uns die Zusammensetzung und Konzentration der beiderseits der Grenzfläche befindlichen Lösungen bekannt sind.

Die Zusammensetzung der Geschmackslösung ist bekannt, und ihre Konzentration lässt sich ermitteln, aber die Zusammensetzung und Konzentration der anderen Lösung der Kette kennen wir nicht direkt. Nehmen wir dafür den Inhalt der Geschmackszellen oder -nerven, so ist sie eine kolloidale Lösung (Protoplasma), die eine bestimmte Elektrolytenmenge einschliesst; nehmen wir dafür die in den Geschmackskörperchen enthaltene Flüssigkeit, so ist sie höchst wahrscheinlich die Speichellösung, also eine ebenfalls kolloidale Substanzen, hauptsächlich Muzine, enthaltende sowie auch elektrolythaltige Lösung. Nun ist jedoch zu bemerken, dass es für die Grösse und das Vorzeichen des Potentials ziemlich einerlei ist, welche von diesen beiden Lösungen wir die andere Lösung der Kette bilden lassen.

Sie sind alle beide kolloidale Lösungen, und es ist daher der Einfluss der Kolloidsubstanzen auf die Grösse der Potentialdifferenz zu untersuchen. Diese Einwirkung ist sehr klein, wenn die Konzentration des Kolloides klein ist, wie beim Speichel (bei diesem ist die Konzentration des »Schleims» und der Epithelien 0,22 % [1]), aber auch bei höherer Konzentration ist die Einwirkung minimal, weil die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen unter dem Einfluss des Kolloids bei allen Ionen in demselben Verhältnis abnimmt [2].

---

[1] Hammerbacher, Zeitschr. f. physiolog. Chem. 5, S. 302; 1881.

[2] L. W. Öholm, Bidrag till kännedomen om olcdares inverkan på elektrolyters diffusion och elektriska ledningsförmåga jämte en undersökning öfver ifrågavarande lösningars viscositet. Öfversigt af Finska Vetenskaps-Societetens Förhandlingar. Bd. LV. 1912—13. Afd. A.; und Meddelanden från K. Vetenskapsakademiens Nobelinstitut. Bd. 2. N:o 30. 1913. — Die Nichtelektrolyte verlangsamen die Diffusion der Elektrolyte und setzen deren elektrische Leitfähigkeit herab. Diese herabsetzende Wirkung ist etwas kleiner als direkt proportional der Konzentration des Nichtelektrolyten, und ausserdem ist sie meistens nur von der Art des Nichtelektrolyten, aber gar nicht von dem Elektrolyten abhängig.

Die Einwirkung eines Nichtelektrolyten, hier der Gelatine, auf den Diffusionskoeffizienten erhellt aus der folgenden Tabelle.

Tabelle 23.

Konzentration der Gelatine in %.	Diffusionskoeffizient von KCl (20°)
0	1,39
2	1,31
5	1,24
10	1,13

Im Speichel ist die Konzentration des »Schleims» und der Epithelien 0,22 %, wahrscheinlich wird also diese Menge keinen Einfluss auf die Diffusion der Elektrolyte und mithin auch nicht auf die Diffusionspotentialdifferenz ausüben.

Weiter ist die Art und Konzentration des zweiten Elektrolyten unserer Kette zu ermitteln. Wie gesagt, ist man auch hierbei nicht gezwungen, speziellere Annahmen zu machen. Mag diese Lösung die in den Geschmackszellen enthaltene Flüssigkeit (Protoplasma) oder der in den Geschmackskörperchen vorhandene Speichel sein, ihr hauptsächlichster Elektrolyt ist in beiden Fällen ein Kaliumsalz. Bekanntlich enthalten die Zellen als Elektrolyten hauptsächlich Kaliumphosphat, und im Speichel ist das Kaliumchlorid das in der grössten Menge auftretende Elektrolyt. Nach Hammerbacher[1] sind die Salze des Speichels und ihre Konzentrationen die folgenden:

Tabelle 24.

	% der ganzen Salzmenge	% des gesamten Speichels	Molare Konzentration.
KCl	38,006	0,0722	0,0097
K_2SO_4 . . .	13,908	0,0264	0,0015
K_3PO_4 . . .	21,278	0,0404	0,0019
Na_3PO_4 . . .	16,917	0,0321	0,0020
$Ca_3(PO_4)_2$ . .	9,246		
$Mg_3(PO_4)_2$.	0,338		
	99,693		

[1] loc. cit. S. 152.

Die K-Salze, im höchsten Mass KCl, sind also die hauptsächlichen Elektrolyte des Speichels. Die Grösse und Richtung des Diffusionspotentials wird nun (ausser durch die Konzentration) durch die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen bestimmt. Das Chlor- und das Phosphat- wie auch das Sulphation wandern nun ungefähr gleich schnell, weshalb es beinahe einerlei ist, ob wir KCl oder Kaliumphosphat als den zweiten Elektrolyten der Kette betrachten.

Was die Konzentration des Elektrolyten in der zweiten Lösung der Kette anlangt, ist es schwierig darüber zu urteilen. Nach Hammerbacher ist die Konzentrationssumme aller löslichen Salze des Speichels 0,0151 n. Wir können uns ausserdem denken, dass ein Teil dieser Salze mit Kolloiden in Adsorptions- oder anderen Verbindungen vereinigt ist, sodass dieselben keinen Einfluss auf das Diffusionspotential haben. Wahrscheinlich ist dies jedoch nicht der Fall, denn Höber[1] hat nachgewiesen, dass sich in den roten Blutkörperchen die meisten, ja fast alle anorganischen Salze wirklich in freiem Zustand befinden und nicht an Kolloide gebunden sind. Nach ihm entspricht das elektrische Leitungsvermögen der Elektrolyte der roten Blutkörperchen, also die Konzentration der in ihnen enthaltenen freien Elektrolyte, einer 0,1—0,4 % NaCl-Lösung oder in Molen 0,017—0,068. Diese hinwieder entspricht bezüglich des elektrischen Leitungsvermögens einer 0,014—0,057 molaren KCl-Lösung.

Die Konzentration der freien Elektrolyte in den roten Blutkörperchen und wahrscheinlich auch in anderen Zellen gehört mithin derselben Grössenordnung an wie die gesamte Elektrolytenkonzentration des Speichels. Die Konzentration der inneren Lösung der Kette ist also jedenfalls ca. 0,01—0,06 molar, und zwar besteht sie aus K—Salz.

Die Gleichung für die Diffusionspotentialdifferenz bei verschieden konzentrierten Lösungen desselben Elektrolyten ist nach Nernst

$$E = 0{,}0576 \cdot \frac{u-v}{u+v} \cdot \log \frac{c_1}{c_2},$$

wo u und v die Wanderungsgeschwindigkeiten des Kations und des Anions, c_1 und c_2 die Konzentrationen des Elektrolyten sind.

Wenn die Elektrolyte verschieden sind, aber doch alle 1×1-wertig, kann man nach Planck[2] die Potentialdifferenz folgendermassen berechnen:

[1] Höber, Pflügers Arch. 133, S. 237; 1910 u. 148, S. 189; 1912.

[2] Planck, Wiedemanns Annalen d. Physik, 40, S. 561; 1890.

$$E = 0{,}0576 \, . \log \xi.$$

ξ ist eine Hilfsgrösse, die graphisch oder durch Versuchen aus den folgenden transzendenten Gleichungen bestimmt werden kann:

$$\frac{\log k - \log \xi}{\log k + \log \xi} \cdot \frac{k \, . \, \xi - 1}{k - \xi} = n$$

$$\frac{U_2 \, . \, \xi - U_1}{V_2 - V_1 \, . \, \xi} = n.$$

Die Bedeutung der Buchstaben ist in unserem Fall, wo in der Kette nur zwei Elektrolyte, der zu schmeckende Elektrolyt und KCl (die Mengen der übrigen Elektrolyte sind relativ sehr klein) vorhanden sind, folgende:

$k = \frac{c_2}{c_1}$, also das Verhältnis der Konzentrationen der Elektrolyte,
$U_1 = u_1 \, . \, c_1$,
$U_2 = u_2 \, . \, c_2$,
$V_1 = v_1 \, . \, c_1$,
$V_2 = v_2 \, . \, c_2$, wobei u_1 und u_2 die Wanderungsgeschwindigkeiten der Kationen, v_1 und v_2 die der Anionen sind.

38. Aber ohne die auf diese Weise ausführbare Bestimmung der E. M. K. können wir schon im voraus die Grösse der letzteren und ihr Vorzeichen bei verschiedenen Geschmackslösungen schätzen. Da die eine Lösung der Kette immer ein Kaliumsalz, oder einfacher eine KCl-Lösung ist, in der die beiden Ionen eine fast gleich grosse Wanderungsgeschwindigkeit haben, werden die Grösse und das Vorzeichen der Potentialdifferenz in folgender Weise von der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen des Elektrolyten der Geschmackslösung abhängen.

Wenn die Ionen des Elektrolyten der Geschmackslösung ziemlich gleich schnell wandern und die Konzentration der letzteren nicht viel von der Konzentration von KCl abweicht, ist das sich bildende Potential sehr klein, beinahe Null. Weichen dagegen die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen stärker voneinander ab, so wird das Potential auch schon bei geringer Konzentration der Geschmackslösung grösser. Sie wird umso grösser, je mehr die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen auseinandergehen.

Über die relative Grösse der durch einen Elektrolyten im Geschmackssystem erzeugten Potentialdifferenz können wir mit Hilfe der folgenden Tabelle sofort eine annähernde Schätzung vornehmen.

In dieser Tabelle sind die relativen Wanderungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Ionen in 18⁰ Wasser angegeben [1].

u für	Li	33,4	v für $C_2H_3O_2$ (Anion der Essigsäure)	35
	Na	43,5	F	46,6
	NH_4	64	Cl	65,5
	K	64,6	Br	67,0
	Rb	67,5	J	66,5
	½ Mg	45	NO_3	61,7
	½ Ca	51	ClO_3	55,0
	½ Ba	55	ClO_4	64
	H	315	OH	174

Wir sehen also, dass z. B. KCl im Geschmackssystem eine viel geringere Potentialdifferenz erzeugen müsste als LiCl, das Kaliumazetat aber eine grössere als das Lithiumazetat. Dabei müsste natürlich die Konzentration der Lösungen ziemlich gleich gross sein und darf nicht erheblich von der Konzentration des inneren Gliedes der Kette abweichen.

Allgemein betrachtet finden wir also, dass die Azetate und Fluoride der Alkalimetalle Li und Na kleine Potentiale, ihre Nitrate, Chloride, Bromide, Jodide und Perchlorate dagegen grössere erzeugen. Die Alkalimetalle K und Rb und das Radikal NH_4 verhalten sich gerade umgekehrt, bei ihnen erzeugen die ersteren Salze grössere, die letzteren kleinere Potentiale. Die Erdalkalimetalle Mg, Ca und Ba liegen zwischen den vorhergehenden Gruppen, doch stehen die Mg-Salze der Gruppe von Li und Na, die Ca- und Ba-Salze der Gruppe von K näher. Was die H- und OH-Salze, d. h. die Säuren und Basen betrifft, sind die von ihnen erzeugten Potentiale stets relativ grösser.

Auch auf das Vorzeichen der Potentialdifferenz können wir Schlüsse ziehen. Da in der inneren Lösung der Kette die Ionen K^+ und Cl^- fast gleich schnell wandern, muss auch das Vorzeichen lediglich von der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen des Elektrolyten der Geschmackslösung abhängen. Wandert das Kation der letzteren schneller als das Anion, so wird in der sich bildenden elektrischen Doppelschicht die innere, die nach dem Geschmacks-

[1] Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. 1912.

körperchen oder der Geschmackszelle hin gelegene Schicht positiv; wandert das Anion schneller, so wird die innere Schicht negativ. Den ersteren Fall haben wir, wenn die Geschmackslösung z. B. eine Säure oder etwa KF ist, den letzteren, wenn die Geschmackslösung z. B. LiBr ist. Sämtliche Säuren gehören natürlich der ersteren, die Basen der letzteren Gruppe an.

Wenn die Konzentration der beiden Lösungen gleich gross ist, wird die Formel von Planck:

$$E = 0{,}0576 \cdot \log \frac{u_1 + v_2}{u_2 + v_1}.$$

Im Geschmackssystem sind hier u_1 und v_1 die Wanderungsgeschwindigkeiten des Kations und des Anions des Geschmackselektrolyten, u_2 und v_2 diejenigen des inneren Elektrolyten, also des K- und Cl-Ions.

Beim Einsetzen der Werte der Wanderungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Ionen, können wir aus dieser Formel sehen, dass die obige Darlegung stich hält. Je grösser der Unterschied der Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen des Geschmackselektrolyten, desto grösser wird die elektrische Potentialdifferenz. Wenn diese Geschwindigkeiten beinahe gleich gross sind, wird sie sehr klein, beinahe Null. Auch sieht man wie das Vorzeichen darauf beruht ob Kation oder Anion schneller wandern.

39. Wir werden jetzt die Geschmacksqualität der verschiedenen Elektrolyte studieren, um zu sehen, ob zwischen ihr und der Grösse und dem Vorzeichen der von dem Elektrolyten im Geschmackssystem erzeugten Potentialdifferenzen irgendein bestimmtes Verhältnis besteht.

Diese Untersuchung wird in hohem Grade dadurch erschwert, dass die Qualität des Geschmacks für einunddenselben Elektrolyten mit der Konzentration wechselt. Um die Untersuchung möglichst vollständig zu gestalten, habe ich die Geschmacksqualität jedes einzelnen Elektrolyten, in mehreren voneinander verschiedenen Konzentrationen, von den der Schwelle des Geschmacks nahe liegenden bis zu hohen (1,0 n.), bestimmt. Ich teile hier die Versuchsprotokolle mit, da man sich nur aus ihnen eine deutliche Anschauung über die Schwankungen der Qualität bilden kann (Tabellen 25—38).

Tabelle 25. KCl.

Molare Konz.	Geschmack.
0,0090	süss.
0,010	» , stärker als der Vorige.
0,015	» , ungefähr wie der Vorige.
0,020	» , vielleicht ein wenig bitterlich.
0,030	bitter.
0,040	»
0,050	» , ein wenig auch salzig.
0,070	» , salzartig.
0,1	» , noch mehr auch salzig.
0,2	salzig, doch mehr bitterlich als eine gleich konzentrierte NaCl-Lösung.
0,3	» , beinahe rein salzig.
0,4	» , nur rein salzig.
0,6	» , nicht ganz rein, auch bitterlich.
1,0	» , der Geschmack stark stechend, von Bitterlichkeit merkt man beinahe nichts.

Wenn man die 0,050 – 0,10 molaren Lösungen mit gleich konzentrierten NaCl-Lösungen vergleicht, die einen rein salzigen Geschmack haben erkennt man den ausserordentlich bitteren Geschmack der ersteren deutlich; der salzige Beigeschmack wird beim Vergleichen nicht klar empfunden. Wenn keine Vergleichung stattfindet, tritt das Salzige deutlicher hervor. Sind die 0,050 – 0,3 molaren Lösungen ausgespieen und wird der Mund mit einer nicht zu grossen Menge destill. Wassers ausgespült, so hat man einen deutlichen süssen Nachgeschmack im Munde. Bei grösseren und kleineren Konzentrationen ist von diesem Nachgeschmack nichts zu merken.

Tabelle 26. NaCl.

Molare Konz.	Geschmack.
0,0090	kein Geschmack.
0.010	süss, sehr schwach.
0,015	» , ein wenig stärker.
0,020	» , noch stärker.

Molare Konz.	Geschmack.
0,030	salzig, eine süsse Nuance.
0,040	»
0,050	» , stärker, rein salzig.
0,070	» , noch stärker.
0,1	» » »
0,2	» , reiner salzig als bei einer 0,2 n. LiCl-Lösung.
0,3	»
0,4	»
0,6	»
1,0	»

Bei den Konzentrationen 0,030—0,040 findet sich neben dem salzigen möglicherweise ein schwach süsser Geschmack, bei höheren Konzentrationen aber ist der Geschmack ausschliesslich und rein salzig und er wird mit zunehmender Konzentration stärker. Ein bitterer Beigeschmack ist nicht vorhanden, was man beim Vergleichen mit gleich konzentrierten KCl-Lösungen am deutlichsten erkennt. Die Konzentrationen 0,040—0,3 ergeben bei Nachspülen mit Wasser einen süssen Geschmack, der nicht so deutlich wie bei KCl- und LiCl-Lösungen ist. Bei höheren Konzentrationen fehlt der Nachgeschmack.

Tabelle 27. LiCl.

Molare Konz.	Geschmack.
0,0090	kein Geschmack.
0,010	süss, kaum bemerkbar?
0,015	» , schwach.
0,020	» , deutlich.
0,030	» , stärker.
0,040	» , schwach salzig.
0,050	süss-salzig.
0,070	salzig, süssartig.
0,1	» »
0,2	»
0,3	» , rein salzig.
0,4	» » »
0,6	» » »
1,0	» » »

Bei den Konzentrationen 0,010—0,040 ist der süsse Geschmack weicher als bei den entsprechenden NaCl-Lösungen. Bei den Konzentrationen 0,070 und 0,1 wird das Süsse am deutlichsten erkannt, wenn man mit dem rein salzigen Geschmack der NaCl-Lösungen vergleicht. Beim Nachspülen mit Wasser erhält man bei den Konzentrationen 0,070—0,3 einen süssen Nachgeschmack.

Für K-, Na- und LiCl ist ausserdem zu bemerken, dass es bei der Konzentration 0,3 fast unmöglich ist einen Unterschied in der Geschmacksqualität dieser Salze zu erkennen. Auch die Intensität des Geschmacks ist bei allen ziemlich gleich gross. Bei der Konzentration 0,4 hat KCl (auch NH_4Cl) einen intensiveren Geschmack als NaCl und LiCl. Ebenso bei der Konzentration 0,6, wo KCl (und auch NH_4Cl) ausserdem ein wenig bitter ist. Beachtenswert ist ferner, dass bei den Konzentrationen 0,4—1,0 die Intensität des Geschmacks für alle Salze überhaupt kaum zunimmt. Die 1,0 molaren Lösungen von KCl und NH_4Cl sind jedoch recht intensiv stechend.

Tabelle 28. NH_4Cl.

Molare Konz.	Geschmack.
0,010	süss, vielleiht ein wenig bitterlich.
0,020	bitter.
0,030	» , zuweilen eine schwache salzartige Nuance.
0,040	» , » » » » »
0,050	» , mit salziger Nuance.
0,1	bitter-salzig.
0,2	salzig, ganz derselbe Geschmack wie der einer 0,2 molaren KCl Lösung.
0,3	» , rein salzig.
0,4	» , » »
0,6	» , nicht ganz rein, auch bitterlich.
1,0	» , stark stechend, keine Bitterlichkeit.

Süsser Nachgeschmack bei den Konzentrationen 0,1—0,3, nicht bei höheren.

Tabelle 29.

Molare Konz.	KBr	NH_4Br	NaBr	LiBr
0,010	süss, deutlich.	süss, ein wenig bitterlich.	süss, schwach.	süss, schwach.
0,020	süss-bitterlich.	bitter.	süss-salzig.	» .
0,030	» .	» , salziger Beigeschmack.	salzig.	süss-(salzig?).
0,040	bitter-salzig.	» , » » .	» .	salzig-süss.
0,050	» .	» , » » .	» .	» , die Süssigkeit schwach.
0,1	» .	bitter-salzig.	» .	» .
0,2	salzig, rein salzig.	salzig.	» .	salzig.
0,3	» , » » .	» .	» .	» .

Beim Vergleich von gleich konzentrierten K-, Na- und LiBr-Lösungen bemerkt man deutlich, wie bei NaBr der salzige Geschmack am reinsten ist. KBr hat einen bitteren, LiBr einen süssen Beigeschmack. Der Geschmack von NH_4Br gleicht am meisten demjenigen von KBr.

Tabelle 30.

Molare Konz.	KJ.	NH_4J.	RbJ.	NaJ.	LiJ.
0,010	— (kein Geschmack).		süss.	—	—
0,020	—		bitter-süss.	—	—
0,040	?		bitter-süsslich.	?	—
0,050	vielleicht schwach fade.	vielleicht schwach fade.		—	—
0,1	salzig-bitter.		bitter.	salzig, schwach.	salzig-süss, sehr schwach.
0,2	»			» , deutlich.	salzig, deutlich.
0,3	salzig.			»	»

KJ gibt bei den Konzentrationen 0,040—0,2 einen süssen Nachgeschmack. Ebenso 0,1 molares NaJ. Wie bei den Chloriden und Bromiden ist auch hier deutlich das Bittere des K-Salzes, verglichen mit dem Na-Salz, zu erkennen.

Tabelle 31.

Molare Konz.	K-Azetat.	Na-Azetat.	Li-Azetat.
0,010	süss, schwach.	—	—
0,015	fade (süss ?)		süss, schwach.
0,020	fade, mit einer säuerlichen Nuance.	süss-fade, schwach.	fade.
0,030	fade, mit einer säuerlichen Nuance.		»
0,040	fade, mit einer säuerlichen Nuance.	fade.	»
0,050	fade, saurer Beigeschmack.	»	»
0,070	fade-sauer, deutliche Säuerlichkeit.		» , salzige Nuance
0,1	fade-sauer.	»	salzig.
0,2	salzig-sauer.	» , (salzig-sauer)	» , stark.
0,3	salzig, säuerlich.	salzig.	»

Na-Azetat 0,1 und 0,2 geben einen süssen Nachgeschmack. Bei den übrigen Salzen ist der Nachgeschmack nicht geprüft worden.

Tabelle 32.

Molare Konz.	$KClO_4$	$KClO_3$
0,010	süss.	süss, sehr schwach.
0,020	süss-fade.	fade-süss.
0,040	fade.	fade-bitter, ungefähr wie 0,040 molares KCl.
0,050	»	fade.
0,1	fade-bitter, der Geschmack ist viel schwächer als bei 0,1 molarem KCl.	»
0,2	bitter.	bitter, ziemlich stark.
0,3	»	» , » »

Die Konzentrationen 0,020—0,1 von $KClO_4$ und $KClO_3$ geben beim Ausspülen mit Wasser einen süssen Nachgeschmack. Die Konzentrationen 0,2 und 0,3 von $KClO_4$ geben bei der ersten Ausspülung einen undeutlich stechenden Geschmack, bei der zweiten einen süssen Nachgeschmack. Die Konzentrationen 0,2 und 0,3 von $KClO_3$ geben einen undeutlich süssen Nachgeschmack.

Tabelle 33.

Molare Konz.	KF
0,01	süss.
0,02	» , stärker als die Vorige.
0,04	» im ersten Augenblick, dann säuerlich.
0,05	fade, mit einem deutlichen sauren Beigeschmack.
0,1	1 Versuch: fade, säuerlich, ziemlich unbestimmt. 2 » : » , deutlich säuerlich.
0,2	1 » : deutlich säuerlich. 2 » : salzig-sauer.
0,3	1 » : sauer-salzig. 2 » : salzig-sauer.
0,4	salzig, stark.
0,6	salzig-sauer, stechend, sehr stark.

Süsser Nachgeschmack bei den Konzentrationen 0,1 und 0,2. Der Geschmack von KF erinnert vielleicht am meisten an den von $KHSO_4$. Beide sind bei mittleren und höheren Konzentrationen sauer-salzig. Vergleicht man den Geschmack von KF (und auch von $KHSO_4$) mit dem von NaCl und HCl, so bemerkt man das Sauer-Salzige von KF deutlich, sein Geschmack ist nicht rein salzig wie der von NaCl und auch nicht so sauer wie der von HCl.

Tabelle 34.

Molare Konz.	HCl
0,00025	—
0,00035	sauer, sehr schwach, ein wenig zusammenziehend.
0,00050	» , stärker als der Vorige.
0,00075	» , noch stärker.
0,001	» , ziemlich stark, zu sauren Mienen zwingend.
0,002	» , wie der Vorige.
0,005	» , unangenehm sauer, beinahe aufressend.
0,007	» » » » » .
0,01	» » » » » .

Der saure Geschmack ist bei den niedrigeren Konzentrationen (0,00035—0,00050) weicher als bei den höheren. Vielleicht könnte man sagen, dass er bei jenen ein wenig an den süssen Geschmack erinnert.

Tabelle 35.

Molare Konz.	KOH.
0,0012	süss, sehr schwach.
0,0015	» » » .
0,0025	» , deutlich, rein süss.
0,0035	» » » » .
0,0050	» , rein, angenehm, ziemlich stark.
0,0075	» » , stärker.
0,01	» , vielleicht ein wenig scharf.
0,02	» , ein wenig anfressend.
0,05	anfressend, beinahe gar nicht süss.

Die Konzentrationen 0,02 und 0,05 geben einen schön süssen Nachgeschmack.

Tabelle 36.

Molare Konz.	$BaCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$
0,0030	fade, schwach. Beim zweiten Versuch eine süsse Nuance.	fade, schwach, süsse Nuance?	süss, ziemlich deutlich. Beim Vergleich mit 0,003 molarem $CaCl_2$ u. 0,01 molarem KCl merkt man dass die Süssigkeit hier viel undeutlicher ist und sozusagen von fade bedeckt.
0,0060	fade, stärker, ein wenig bitterlich. Beim zweiten Versuch eine süsse Nuance.	fade, ziemlich schwach, deutliche süsse Nuance.	fade, ziemlich schwach.
0,010	bitter, rein.	fade, bitter und ziemlich deutliche süsse Nuance. Beim zweiten Versuch süss, stechend, fade.	fade, süsse Nuance. Beim Vergleich mit 0,02 n. KCl merkt man wie die Süssigkeit hier doch schwach ist.
0,020	» , stärker.	bitter und salzig, eine wunderbare süsse Nuance. Beim zweiten Versuch salzig, mit einer süssen, bitterlichen Nuance.	süss-fade. Süss ist beinahe der Hauptgeschmack.
0,040			salzig, deutlich, keine Bitterlichkeit. Beim

Molare Konz.	$BaCl_2$	$CaCl_2$	$MgCl_2$
			zweiten Versuch salzig-fade.
0,050	bitter, starker Geschmack.	salzig-bitter. Weniger bitter als 0,050 molares $BaCl_2$	
0,1	bitter, eine salzige Nuance.	bitter-salzig.	salzig, sehr deutlich, keine Bitterlichkeit.
0,2	bitter, beim ausspucken salzig.	salzig, bittere Nuance.	salzig, stark. Beim Vergleich mit NaCl merkt man dass der Geschmack doch ein wenig bitter ist.
0,3	bitter, sehr stark.	» » »	salzig, stark.
0,4	» , scheusslich.	» , bitterer als 0,4 molares $MgCl_2$.	salzig.

Ein süsser Nachgeschmack findet sich für $BaCl_2$ und $CaCl_2$ bei der Konzentration 0,2 und für $MgCl_2$ bei den Konzentrationen 0,020—0,1.

Der Geschmack von $MgCl_2$ bei den Konzentrationen 0,04 und 0,1 erinnert durchaus an die Geschmacksqualität von 0,05 molarem NaCl, d. h. er ist rein salzig. Der Geschmack von $CaCl_2$ ist bei denselben Konzentrationen weniger rein salzig, denn er hat eine bittere Nuance, während der Geschmack von $BaCl_2$ beinahe rein bitter ist. Bei den Konzentrationen 0,3 und 0,4 ist der Geschmack von $MgCl_2$ am salzigsten, kaum eine Spur bitter, der von $CaCl_2$ bitterer, aber doch in der Hauptsache salzig, der von $BaCl_2$ ausserordentlich bitter.

Tabelle 37.

Molare Konz.	Ca-Azetat.
0,01	fade, schwach.
0,02	» , stärker.
0,04	» , bitterlich.
0,1	bitter, mit einem wunderbaren Beigeschmack.
0,2	» , stark.
0,3	» »

40. Zwecks Erleichterung des Überblicks habe ich die in den obigen Protokollen enthaltenen Angaben in den Tabellen 38 u. 39 sowie 41 zusammengefasst. In der Tabelle 38 sind die Elektrolyte anionenweise geordnet, angefangen mit dem am schnellsten wandernden Br, bis zu dem langsamsten, dem Anion der Essigsäure; in jeder der

Tabelle 38.

	0,0090	0,010	0,015	0,020	0,030	0,040	0,050	0,070	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	1,0
KBr		Z		Z—B	Z—B	B—S	B—S		B—S	S	S			
NH_4Br		Z		B	B—S	B—S	B—S		B—S	S	S			
NaBr		Z		Z—B	S	S	S		S	S	S			
LiBr		Z		Z	Z—S	S—Z	S—Z		S—Z	S	S			
KJ		—		—		?	—F		S—B	S—B	S			
NH_4J							—F							
NaJ		—		—		—?	—		S	S	S			
LiJ		—		—		—	—		S—Z	S	S			
KCl	Z	Z	Z	Z—B	B	B	B—S	B—S	B—S	S	S	S	S—B Stechend.	S Stechend.
NH_4Cl		Z—F		B	B	B	B—S		B—S	S	S	S	S—B	S
NaCl	—	Z	Z	Z—S	S—Z	S	S	S	S	S	S	S	S	S
LiCl	—	Z	Z	Z	Z	Z—S	Z—S	S—Z	S—Z	S	S	S	S	S
$KClO_4$		Z		Z—F		F	F		F—B	B	B			
$KClO_3$		Z		F—Z		F—B	F		F	B	B			
KF		Z		Z		Z—H	F—H		F—H	S—H	S—H	S	S—H	
K-Azetat		Z	F—Z	F—H	F—H	F	F—H	F—H	F—H	S—H	S—H			
Na-Azetat . . .		—		Z—F		F	F		F	F—S—H	S			
Li-Azetat		—	Z	F	F	F	F	F—S	S	S	S			

Gruppen der Anionen sind die Kationen vom schnellsten nach dem langsamsten hin angegeben.

Die Tabelle 41 ist in derselben Weise angeordnet, aber enthält die Salze der Erdalkalien. In diesen Tabellen ist die Bedeutung der Buchstaben die folgende:

Z = süss.
S = salzig.
F = fade (= schwach bitter).
B = bitter.
H = sauer.

Die Kombinationen daraus verstehen sich von selbst, z. B. Z—S = süss—salzig usw.

Aus Tabelle 38 können wir zunächst folgendes ersehen. Die Geschmacksqualität aller Elektrolyte ist bei den niedrigsten Konzentrationen süss (oder es findet sich in dem Geschmack süss neben einer anderen Qualität). Die senkrechte dickere Linie zeigt an, wo das Süsse des Geschmacks für jeden einzelnen Elektrolyten aufhört. Wir finden also, dass der Geschmack aller Elektrolyte von der Schwellenkonzentration an bis zu der Konzentration von ca. 0,020—0,040 n. süss ist. Eine Ausnahme machen die Jodsalze, die bei diesen Konzentrationen überhaupt keinen Geschmack aufweisen.

Die Geschmacksqualität aller Elektrolyte ist bei den höchsten Konzentrationen salzig (oder der Geschmack enthält salzig neben einer anderen Qualität). Die senkrechte dickere Linie zeigt an, wo das Salzige des Geschmacks beginnt. Mithin ist der Geschmack aller Elektrolyte ungefähr von der Konzentration 0,2 molar an salzig. Ausnahmen stellen $KClO_4$ und $KClO_3$ dar, deren Geschmack bei diesen Konzentrationen bitter ist.

Zwischen den Konzentrationen 0,02—0,04 und ca. 0,2 ist der Geschmack der verschiedenen Elektrolyte sehr verschieden. In den vier ersten Gruppen, also für die Br-, J-, Cl-, ClO_4- und ClO_3-Salze ist der Geschmack der K-Verbindung bei diesen Konzentrationen stets bitter oder fade (oder bitter ist in dem Geschmack das Dominierende). Genau ebenso verhält es sich mit den NH_4-Salzen (wie auch mit den Rb-Salzen), auch bei diesen ist bitter der Hauptgeschmack. Die Na-Verbindungen aller dieser Anionen hinwieder sind salzig, und die Li-Salze sind bei diesen Konzentrationen süss—salzig.

In den beiden letzten Gruppen, also für die Fluoride und die Salze der Essigsäure, ist der Geschmack der K-Verbindung fade—sauer. Der des Na-Salzes ist fade, desgleichen der des Li-Salzes.

In Tabelle 39 ist die Geschmacksqualität jedes einzelnen Elektrolyten bei diesen mittleren Konzentrationen nach der obigen Bezeichnungsweise eingetragen.

Tabelle 39.

	Mittlere Konz.		Mittlere Konz.
KBr	B	NaCl	S
NH_4Br	B	LiCl	Z—S
NaBr	S		
LiBr	Z—S	$KClO_4$	B
		$KClO_3$	B
KJ	F		
NH_4J	F	KF	H—S
NaJ	S		
LiJ	Z—S	K-Azetat	B—H
KCl	B	Na-Azetat	B
NH_4Cl	B	Li-Azetat	B

Wir finden nun, das zwischen der Geschmacksqualität des Elektrolyten bei mittlerer Konzentration und dem Vorzeichen und der Grösse der von ihm im Geschmackssystem gebildeten Potentialdifferenz folgende Beziehungen herrschen.

Wenn sich keine bemerkenswerte Potentialdifferenz bildet, d. h. wenn die Ionen des zu schmeckenden Elektrolyten gleich schnell wandern, ist der Geschmack bitter oder fade (KBr, -J, -Cl, $-ClO_3$, $-ClO_4$, ebenso das Li-Azetat und, wenn auch nicht so deutlich, das Na-Azetat).

Bildet sich eine Potentialdifferenz und ist die Wanderungsgeschwindigkeit des Kations kleiner als die des Anions, so ist der Geschmack salzig (NaBr, -J, -Cl). Ist die Geschwindigkeit des Kations noch kleiner im Verhältnis zur Geschwindigkeit des Anions, so erhält der Geschmack eine süsse Nuance, d. h. er wird süss—salzig (LiBr, -J, -Cl).

Wenn die Wanderungsgeschwindigkeit des Kations viel kleiner als die des Anions ist, ist der Geschmack rein süss. Elektrolyte dieser Art sind die Hydroxyde (KOH, NaOH).

Bildet sich eine Potentialdifferenz und ist die Wanderungsgeschwindigkeit des Kations grösser als die des Anions, so ist der Geschmack säuerlich oder sauer (KF, -Azetat, einigermassen auch das Na-Azetat).

Wenn die Geschwindigkeit des Kations viel grösser ist als die des Anions, ist der Geschmack rein sauer. Hierher gehörige Elektrolyte sind die Säuren (HCl, HNO_3, Essigsäure).

Diese mittlere Konzentration der Geschmackselektrolyte ist ungefähr so gross, wie die Konzentration des inneren Elektrolyten der im Geschmackssystem sich bildenden Kette. Die Planck'sche Formel für gleich konzentrierte Elektrolyte gibt also den Wert des Potentials bei dieser mittleren Konzentration.

Bei den verschiedenen Elektrolyten berechnet sich das Potential zu den in der folgenden Tabelle angegebenen Werten (inneres Elektrolyt KCl).

Tabelle 40.

	E. M. K. in Volt		E. M. K. in Volt
KOH	— 0,02	Na-Acetat . .	+ 0,002
LiCl	— 0,007	KF.	+ 0,001
NaCl	— 0,004	K-Acetat. . .	+ 0,007
Li-Acetat . .	— 0,0002	HCl	+ 0,03
KCl	± 0		

Diese Werte zeigen den oben dargelegten Zusammenhang zwischen der Grösse und dem Vorzeichen der von der Geschmackselektrolyten hervorgerufenen elektrischen Potentialdifferenzen und deren Geschmacksqualität.

Bei niedrigeren Konzentrationen ist der Geschmack sämtlicher Elektrolyte süss. Vanzetti[1] hat gezeigt, dass die Salze der Alkalimetalle bei niedrigen Konzentrationen beim Diffundieren hydrolytisch gespalten werden. Im Geschmackssystem findet eine Diffusion statt. und die in Betracht kommenden Konzentrationen sind ja sehr niedrig; wahrscheinlich ist also der zu schmeckende Elektrolyt dabei hydrolytisch gespalten. In der Lösung sind daher freie H- und OH-Ionen vorhanden. Die Konzentration dieser ist jedoch sehr niedrig. Die freien H-Ionen werden natürlich sofort von den OH-Ionen des Speichels und der basischen Gewebe neutralisiert, aber die OH-Ionen

[1] Vanzetti. Koll. Zeitschr. 9, S. 54; 1911.

bleiben frei. In der Geschmackslösung finden sich also OH-Ionen. und deren Wanderungsgeschwindigkeit ist ja viel grösser als die des Kations der Geschmackselektrolyte, weshalb es natürlich ist, dass wir einen süssen Geschmack erhalten.

Mit steigender Konzentration nimmt die Hydrolyse ab und verschwindet; der Geschmack ist nicht mehr süss. Aus der Tabelle 33 und noch deutlicher aus den einzelnen Protokollen ersieht man, wie auf der Grenze der niedrigeren und mittleren Konzentrationen bei mehreren Elektrolyten der süsse Geschmack allmählich in den Geschmack der mittleren Konzentrationen übergeht. Er ist hier z. B. bei KCl süss—bitter, bei NaCl süss—salzig usw. Bei den Li-Salzen, deren Geschmack auch bei mittleren Konzentrationen süss-salzig ist, ist selbstverständlich die Grenze zwischen der Qualität der niedrigeren Konzentrationen, d. h. der süssen, und dem Geschmack der mittleren Konzentrationen nicht deutlich.

In höheren Konzentrationen als den mittleren, d. h. in höheren als ca. 0,2 molaren ist der Geschmack aller Elektrolyte salzig oder wie der von KF und K-Azetat salzig—sauer. (Ausnahmen machen $KClO_4$ und $KClO_3$, worüber später).

Die Elektrolyte, deren Ionen ziemlich gleich schnell wandern (KBr, -J, -Cl und das Li-Azetat, auch das Na-Azetat), bilden in höheren Konzentrationen jedoch im Geschmackssystem erhebliche Potentialdifferenzen. Ihr Geschmack müsste daher alsdann nicht mehr bitter sein, sondern, weil die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen nur ganz wenig voneinander abweichen, ist der Geschmack folglich salzig.

Bei diesen hohen Konzentrationen bleibt der Geschmack der Na-Salze natürlich derselbe wie bei den mittleren. Im Geschmack der Li-Salze geht das Süsse verloren, aber ihr Geschmack ist doch noch von etwas weicherer Qualität als der der Na-Salze.

Der Geschmack des KF und K-Azetats behauptet sich in der Hinsicht qualitativ, dass das Saure erhalten bleibt, aber der bittere oder fade Geschmack geht in den salzigen über.

Da der Geschmack von NaBr, -J, -Cl auch bei mittlerer Konzentration salzig ist, ist die Grenze zwischen dieser und den höheren Konzentrationen nicht zu erkennen. Ebenso ist die Grenze undeutlich bei KF und K-Azetat, weil in deren Geschmack auch bei mittlerer Konzentration das Saure merkbar ist; hier habe ich die Grenze da markiert, wo das Salzige beginnt.

Weiter ist hervorzuheben, dass der Geschmack der Alkalihydro-

xyde in allen den Konzentrationen süss ist, bei denen sie keine ätzende Wirkung auf die Gewebe und Geschmackszellen ausüben, wie es auch der Erwartung entspricht. Der Geschmack der Säuren ist hinwieder bei allen Konzentrationen sauer.

Auf Grund der obigen Betrachtungen, können wir den Geschmack eines einwertigen Elektrolyten bei mittlerer Konzentration als seinen spezifischen Geschmack ansehen. In Tabelle 39 sind, wie erwähnt, die spezifischen oder der mittleren Konzentration entsprechenden Geschmäcke der verschiedenen Elektrolyte zusammengestellt.

Wenn man die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen eines einwertigen Elektrolyten und seine Konzentration kennt, ist es an der Hand der obigen Ausführungen möglich, die von ihm hervorgerufene Geschmacksqualität mit einer gewissen Exaktheit zu schätzen. In der folgenden kleinen Tabelle habe ich Elektrolyte zusammengestellt, die einen verschiedenartigen spezifischen Geschmack besitzen.

	Spezifischer Geschmack
KOH . . .	süss.
LiCl . . .	süss-salzig.
NaCl . . .	salzig.
KCl. . . .	bitter.
KF	fade-sauer, bei etwas höheren Konzentrationen auch salzig.
$KHSO_4$ . .	salzig-sauer.
HCl . . .	sauer.

Wenn das Anion des Elektrolyten schneller wandert als das Kation, wird die innere, d. h. die nach der Geschmackszelle hin gelegene Schicht der sich im Geschmackssystem bildenden elektrischen Doppelschicht negativ, wenn das Kation schneller wandert, positiv.

In der folgenden Tabelle findet man das Verhältnis der Grössen der Wanderungsgeschwindigkeiten K des Kations und A des Anions, den spezifischen Geschmack des Elektrolyten und das Vorzeichen der inneren Schicht der elektrischen Doppelschicht kurz veranschaulicht. Die Ungleichheitszeichen zwischen den Wanderungsgeschwindigkeiten K und A geben an, welches von den beiden Ionen schneller wandert, und ihre Zahl verdeutlicht die Grösse des Unterschieds der Geschwindigkeit.

	Spezifischer Geschmack	Vorzeichen der inneren Schicht
K<<<A . .	Z	—
K<<A . . .	Z—S	—
K<A	S	—
K=A	B	0
K>A	B—H(S)	+
K>>A . . .	S—H	+
K>>>A . .	H	+

41. Ich habe auch die Geschmacksqualitäten einiger Salze von Erdalkalimetallen bei verschiedenen Konzentrationen bestimmt, um zu sehen, ob diese Regeln auch für sie gelten. Die Resultate der Bestimmungen sind in Tabelle 41 kurz zusammengefasst.

Tabelle 41.

	0,0030	0,0050	0,0060	0,010	0,020	0,040	0,050	0,1	0,2	0,3	0,4
$BaCl_2$ . . .	F—Z		F—Z	B	B		B	B—S	B—S	B	B
$CaCl_2$ . . .	F—Z		F—Z	F—Z	S—F		S—B	S—B	S—B	S—B	S
$MgCl_2$ . . .	Z		F-Z	F—Z	F—Z	S		S	S	S	S
Ca-Azetat .				F	F	F		B?	B	B	

Bei den niedrigsten Konzentrationen 0,0030—ca. 0,02 molar ist also der Geschmack der untersuchten Chloride fade—süss oder süss, mithin ungefähr wie bei den Alkalisalzen. Für das Ca-Azetat und ebenso für das Ba- und Mg-Azetat (welche hier nicht aufgenommen sind) ist der Geschmack bei den niedrigsten Konzentrationen im allgemeinen fade. Es ist denkbar, dass dies auf dem Fehlen der Hydrolyse oder auf der spezifischen Einwirkung zweiwertiger Kationen auf das Geschmackssystem beruht. Bekanntlich führen manche zweiwertige Kationen irreversible Prozesse, Koagulationen u. a. in den Eiweissstoffen, die wahrscheinlich auch im Adsorbens des Geschmackssystems vorhanden sind, herbei. Der bittere Geschmack dieser zweiwertigen Kationen kann teilweise hiervon herrühren, denn im allgemeinen haben Stoffe, welche irreversible Veränderungen, so z. B. infolge ihrer hohen Konzentration, oder welche chemische Pro-

zesse verursachen, einen bitteren Geschmack. Hierher gehören $KClO_4$ und $KClO_3$, die wahrscheinlich oxydierend wirken; ihr Geschmack ist denn auch bei hohen Konzentrationen bitter.

Bei etwas höheren Konzentrationen ist der Geschmack von $BaCl_2$ bitter; die Wanderungsgeschwindigkeit des Ba-Ions ist etwas kleiner als die des Cl-Ions, aber der Unterschied ist gering. Der Geschmack von $CaCl_2$ ist salzig-bitter, der Unterschied der Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen ist auch grösser, und der Geschmack von $MgCl_2$ ist bei diesen Konzentrationen salzig und erinnert fast vollkommen an den von NaCl. Die Wanderungsgeschwindigkeiten des Mg- und des Na-Ions sind denn auch fast gleich gross.

Bei hohen Konzentrationen ist der Geschmack von $CaCl_2$ und $MgCl_2$ salzig oder hat einen salzigen Beigeschmack, der Geschmack von $BaCl_2$ aber ist bitter. Ebenso der des Ca-Azetats.

Die Salze der zweiwertigen Kationen folgen also den oben dargelegten Regeln einigermassen, wenn auch nicht so deutlich wie die einwertigen Salze der Alkalimetalle, was wahrscheinlich auch auf den irreversiblen Prozessen beruht, die sie im Geschmackssystem verursachen und von denen das im Geschmack dieser Salze allgemein auftretende Bittere vermutlich herrührt.

42. Wie im Zusammenhang mit den meisten Versuchsprotokollen erwähnt wurde, erhalten wir bei den meisten Elektrolyten einen süssen Nachgeschmack, wenn wir den Mund nach dem Versuch mit destilliertem Wasser ausspülen. Indes finden wir ihn nicht bei allen Konzentrationen wieder, die niedrigsten wie auch die höchsten erzeugen ihn nicht, dagegen aber im allgemeinen fast regelmässig die in der Mitte liegenden. Dieser Nachgeschmack ist immer süss, welches auch die Geschmacksqualität des angewandten Elektrolyten sein mag. Dieselbe Beobachtung kann man machen, wenn man Rachen und Mund mit NaCl oder $KClO_3$ ausspült. Nachdem man die Lösung ausgespieen und reines Wasser in den Mund genommen hat, empfindet man einen deutlichen süssen Geschmack. In der Litteratur ist dieses Phänomen von Nagel[1] erwähnt worden.

Die hier vorgelegte Anschauung gibt dieser Erscheinung eine mögliche Erklärung. Nimmt man nach dem Schmeckversuch Wasser in den Mund, so findet im Munde eine Auswaschung der adsorbierten Substanz statt, es entsteht eine Geschmacksempfindung, die ihrer Qualität nach süss ist, weil dabei die Konzentration des

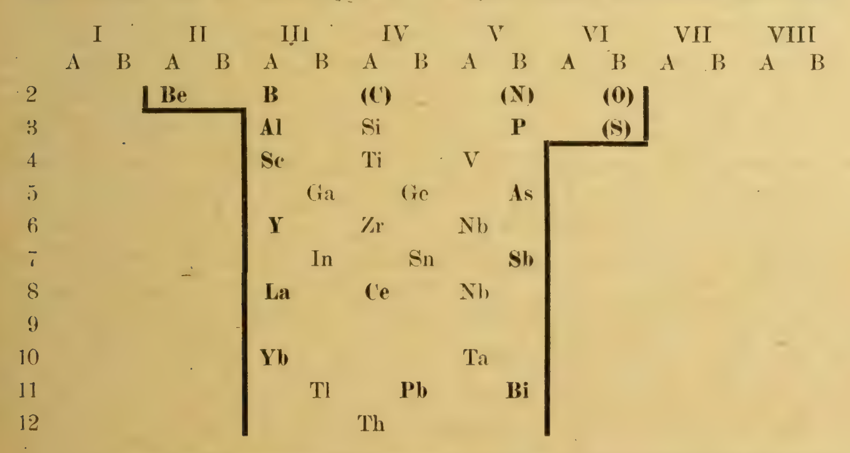
[1] Nagel, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 10, S. 235; 1896.

Elektrolyten sehr gering ist, wo ja der Geschmack immer süss ist. Die niedrigeren Konzentrationen des Geschmackselektrolyten erzeugen keinen Nachgeschmack, wahrscheinlich, weil die Auswaschung u. a. da nicht die erforderliche Grösse erreichen, um eine Geschmacksempfindung hervorzurufen. Bei den höchsten Konzentrationen anderseits wird sie höchst wahrscheinlich durch die irreversiblen Prozesse verhindert.

Die Nichtelektrolyte verursachen keinen süssen Nachgeschmack, was auch natürlich ist, da sie im Geschmackssystem kein elektrisches Potential bilden können.

43. Wenden wir die obige Anschauung von den Qualitäten des Geschmacks auf den Geschmack derjenigen Elektrolyte, deren Kationen drei- oder mehrwertig ist, so gewinnen wir eine einheitliche Erklärung für manche bekannten Erscheinungen. Nach Sternberg[1] haben die Salze, welche Elemente der III., IV. und V. Gruppe des periodischen Systems enthalten, einen süssen Geschmack. Sternberg nennt denn auch aus diesem Grunde die III., IV. und V. Gruppe die »dulzigene Zone». In der II. Gruppe haben die Berylliumsalze ebenfalls süssen Geschmack. In seinem zweiten Artikel hebt er ausserdem hervor, dass die äussersten Stoffe der »dulzigenen Zone» süss seien.

Wir teilen die Tafel Sternbergs hier in etwas modifizierter Form mit. Die Verbindungen der fettgedruckten Elemente sind süss.



	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2			**Be**		**B**		**(C)**			**(N)**		**(O)**				
3					**Al**		Si			**P**		**(S)**				
4					**Sc**		Ti		V							
5						Ga		Ge		**As**						
6					**Y**		Zr		Nb							
7						In		Sn		**Sb**						
8					**La**		**Ce**		Nb							
9																
10					**Yb**				Ta							
11						Tl		**Pb**		**Bi**						
12							Th									

Die eingeklammerten Elemente traten in so verschiedenartigen Verbindungen, deren Geschmacksqualität stark wechselt, auf, dass

[1] Sternberg, Arch. f. Physiol. (Engelmann) Jahrgang 1898, S. 451; — 1903, S. 113.

unseres Erachtens keine Veranlassung vorliegt sie, wie Sternberg es thut, zur dulzigenen Zone zu rechnen. Von den Verbindungen dieser Elemente sind nach Sternberg süss: CO_2, N_2O, OH_2, SH_2. Sternberg bemerkt, dass die Stoffe, die am stärksten amphoteren Charakter haben, süss schmecken.

Bekanntlich sind gerade die Verbindungen dieser Stoffe in den Lösungen hydrolytisch gespalten. Sie enthalten folglich OH-Ionen, wodurch ihr süsser Geschmack nach dem Obigen in natürlicher Weise erklärt wird. Es ist zu bemerken, dass der Geschmack dieser Substanzen, z. B. von $AlCl_3$ oder Pb-Azetat, spezifisch süss ist, d. h. sie sind in ihrer mittleren Konzentration süss. In niedrigeren Konzentrationen sind sie ebenfalls süss, was ganz natürlich ist. In höheren Konzentrationen rufen die Salze zwei- und höherwertiger Kationen irreversible Prozesse im Geschmackssystem hervor, der Geschmack wird denn auch etwas bitter, beissend. Bitter ist im allgemeinen auch der Geschmack der Schwermetallsalze, auch sie verursachen irreversible Prozesse.

44. Im Zusammenhang mit dem Geschmack der Elektrolyte ist noch der Geschmack des stets im Munde vorhandenen Speichels hervorzuheben.

Der hauptsächlichste Elektrolyt des Speichels ist KCl, und nach Hammerbacher ist dessen Konzentration 0,0097. Die Konzentration aller Salze des Speichels ist 0,0151 n. Ob die ganze Menge frei oder aber in Verbindung oder in dem Schleim und den geformten Teilen des Speichels adsorbiert vorhanden ist, ist unbekannt, doch ist es nach den obenerwähnten Untersuchungen von Höber am wahrscheinlichsten, dass fast die ganze Menge frei ist. Die Konzentration der Salze des Speichels ist mithin grösser als die Schwellenkonzentration seiner Salze, nämlich von KCl, die ca. 0,0090 beträgt, und zwar liegt sie etwa auf der Grenze der niedrigsten und mittleren Konzentration von KCl. Man könnte daher vermuten, dass der Geschmack des Speichels derselbe sei, wie der einer KCl-Lösung, deren Konzentration auf der Grenze der niedrigsten und mittleren Konzentration ist. Der Geschmack dieser Lösung ist süss—bitter oder besser fade, mit einer süssen Nuance. Der Geschmack des Speichels ist auch in der Tat ziemlich von dieser Qualität, er ist fade, vielleicht mit einer süssen Abschattung[1].

[1] Wenn wir von dem Geschmack des Speichels reden, vergleichen wir denselben natürlich, wie immer, mit dem Geschmack des destillierten Wassers Nach längerem Verweilen im Munde hat der Speichel selbstverständlich keinerlei Geschmack.

Der fade Geschmack des Speichels beruht also darauf, dass das Kation und das Anion seiner Salze, hauptsächlich des KCl, gleich schnell wandern. Wäre im Speichel in erster Linie z. B. NaCl vorhanden, wie im allgemeinen in der Flüssigkeit zwischen Geweben, so wäre sein Geschmack salzig oder hätte eine salzige Nuance. Beständig würde dieser Geschmack natürlich nicht empfunden werden, aber z. B. jedesmal wenn der Mund mit Wasser ausgespült wäre und wieder Speichel zuflösse, würden wir einen Geschmack mit einem Stich ins Salzige erhalten.

Wass den Geschmack der organischen Stoffe anbelangt, spielen hier wahrscheinlich auch konstitutive Momente ein. Die diesbezüglichen Erscheinungen habe ich nicht studiert.

45. Wir werden jetzt untersuchen, wie sich mehrere andere, beim Schmecken beobachtete Phänomene zu der von uns entwickelten Anschauung verhalten.

Die meisten Physiologen haben vier verschiedene Qualitäten des Geschmacks unterschieden: Bitter, Süss, Salzig und Sauer [1]. Mehrere Erscheinungen weisen darauf hin, dass die Geschmacksqualität des Bitteren eine Sonderstellung gegenüber den anderen Qualitäten einnimmt. Einige ältere Physiologen zählten nur die Qualitäten des Bitteren und Süssen als reine Geschmäcke. Sauer und Salzig wurden nach ihrer Ansicht auch durch Tastempfindungen hervorgerufen (Zenneck, Valentin). Später hat Stich gezeigt, dass Sauer ein eigentlicher Geschmack ist, weil es nur mit den schmeckenden Teilen der Zunge gewonnen werde. Ebenso rechnet Fick Sauer als Geschmacksempfindung, und nach ihm können die Säuren nur bei höheren Konzentrationen auf die Tastnerven einwirken. Brücke nimmt an, dass mit der Geschmacksempfindung des Sauern stets eine Tastempfindung verknüpft sei. v. Vintschgau [2] zieht aus dem vorhergehenden den Schluss, dass Sauer eine wirkliche Geschmacksempfindung sei, aber bei höheren Konzentrationen reizten die Säuren auch die Tastnerven. Zu demselben Resultat gelangt er bezüglich des salzigen Geschmacks. Bitter und Süss sind nach v. Vintschgau reine Geschmacksempfindungen, mit ihnen ist nie eine Tastempfin-

---

[1] Dies sind jedoch wahrscheinlich nur die Hauptqualitäten, zwischen ihnen liegen unzählige Zwischengeschmäcke, worüber später.

[2] Hermanns Handbuch d. Physiol. d. Sinnesorgane. III. 2. — v. Vintschgau, Geschmack. Nach diesem ist die ältere Physiologie des Geschmacks referiert.

dung verbunden. Öhrwall[1] endlich bemerkt, dass auch an Bitter und Süss Tastempfindungen gebunden sein können, wenn nur die angewandten Lösungen hinreichend konzentriert gemacht werden.

Als schliessliches Ergebnis dürfen wir also betrachten, dass der bittere, süsse, salzige und saure Geschmack sämtlich reine Geschmacksempfindungen sind, dass sich aber mit ihnen allen Tastempfindungen verknüpfen können, wenn die benutzten Lösungen genügend konzentriert sind. Bei welcher Konzentration die Tastempfindungen auftreten, hängt wahrscheinlich davon ab, wie intensiv die betreffende Substanz chemisch auf die in der Mundhöhle und auf der Zunge befindlichen Endorgane einwirkt. Die Säuren rufen infolge ihrer chemischen Affinität schon bei recht niedrigen Konzentrationen Tastempfindungen hervor, wie wir aus den Protokollen der mit HCl ausgeführten Versuche sehen (bei HCl von der Konzentration 0,0075 n. an). Ebenso verursachen mehrere Salze bei höheren Konzentrationen Tastempfindungen (z. B. KCl 1,0 n., NH_4Cl 1,0 n.). Der Geschmack des süssen KOH ist schon bei der Konzentration 0,01 ein wenig scharf, und bei 0,02 ist er etwas beissend. Die niedrigsten, deutliche Tastempfindungen auslösenden Konzentrationen sind also bei diesen Salzen die folgenden:

HCl	0,0075 n.
KOH	0,02
KCl, NH_4Cl	1,0.

Der Einfluss auf die Entstehung der Tastempfindung ist in dieser Reihenfolge bei den genannten Substanzen ein absteigender und in derselben Ordnung nimmt wahrscheinlich auch ihre chemische Einwirkung auf die Endapparate des Geschmacksorgans ab (oder der Einfluss auf die Eiweissstoffe, die koagulierende Wirkung). Die organischen bitteren und süssen Substanzen, die bei den Schmeckversuchen gebraucht wurden, rufen erst bei hohen Konzentrationen Tastempfindungen hervor, was vermutlich gerade auf ihrer schwachen chemischen Einwirkung auf die Endapparate des Geschmacksorgans beruht. Bei der Ermittlung der Geschmacksqualität wurden ausserdem organische Substanzen, welche die bittere und die süsse Qualität repräsentierten, in recht niedriger Konzentration angewandt, was wohl darauf beruht, dass diese Stoffe infolge ihrer grösseren Adsorptivität, schon da eine deutliche Geschmacksempfindung geben.

Öhrwall benutzte bei seinen Versuchen 2 % salzsaure Chininlösung, 40 % Zuckerlösung, 20 % NaCl-Lösung und 2—5 % Weinsäurelösung. In Normalitäten sind die Konzentrationen die folgenden:

[1] Öhrwall, Skand. Arch. f. Physiol. 2. S, 1; 1891.

Salzsaure Chininlösung 0,054
Zuckerlösung 1,17
NaCl-Lösung 3,42
Weinsäurelösung 0,13

Die Konzentrationen von NaCl und Weinsäure sind also so hoch, dass sie nicht mehr reine Geschmacksempfindungen, sondern auch Tastempfindungen hervorrufen.

Quix [1] gebrauchte bei seinen Untersuchungen über das Schmeckvermögen des Larynx und des Pharynx von verschiedenen Substanzen folgende Konzentrationen: Chininum muriaticum 0,1—0,4 %, Saccharose 30—60 %, NaCl 10—20 %, HCl 2 %. Die Konzentrationen von NaCl und HCl sind also wieder so hoch, dass Tastempfindungen entstehen.

Salzig und sauer schmeckende Substanzen sind mithin in Schmeckversuchen in Konzentrationen verwendet worden, bei denen sie auch Tastempfindungen erzeugen, und in diesem Umstand dürfte zum Teil die Ursache dazu zu suchen sein, dass gerade die salzige und die saure Qualität als weniger reine Geschmacksempfindungen betrachtet worden sind.

Wie erwähnt, nimmt jedoch wahrscheinlich der bittere Geschmack eine Sonderstellung gegenüber den anderen Geschmacksqualitäten ein. Nach der oben entwickelten Anschauung von den Ursachen der Geschmacksqualitäten, entsteht ein bitterer Geschmack, wenn die schmeckbare Substanz im Geschmackssystem adsorbiert wird und kein elektrisches Potential zustande kommt. Die übrigen Qualitäten treten auf, wenn sich neben der Adsorption auch elektrische Potentiale bilden.

Hiernach können wir also den bitteren Geschmack gewissermassen als den Grundgeschmack ansehen; der Reiz, durch den er hervorgerufen wird, ist auch in den Reizen der anderen Geschmacksqualitäten enthalten, aber ausserdem wird elektrische Energie hinzukommen, damit der Geschmack salzig, sauer oder süss (wenigstens der süsse Geschmack der Elektrolyte) wird.

Da diese Anschauung dem bitteren Geschmack eine Sonderstellung zu den übrigen Qualitäten zuweist, habe ich nachgeprüft, wie sich die in der Litteratur erwähnten, bekannten Erscheinungen aus dem Gebiet der Physiologie des Geschmacks hierzu verhalten.

46. Über die Reaktionsdauer der verschiedenen Geschmacks-

[1] Vgl. Handbuch d. physiol. Methodik von R. Tigerstedt. III. 1.

qualitäten haben v. Vintschgau und Hönigschmied[1] sowie Beaunis[2] Versuche angestellt. Die erstgenannten bestimmten die Zeit, die von dem Moment, wo ein in die Geschmackssubstanz getauchter Pinsel die Zunge berührte, bis zu dem Moment verstrich, wo die Versuchsperson einen deutlichen Geschmack unterschied. Die Versuche wurden in drei Gruppen ausgeführt. In denen der ersten Gruppe wusste die Versuchsperson im voraus, welche Geschmacksqualität die jeweils angewandte Substanz besass, und sie musste den die Dauer messenden elektrischen Strom in dem Augenblick öffnen, wo der Geschmack deutlich empfunden wurde. In der zweiten Gruppe brauchte sie die Geschmacksqualität nicht zu kennen, sondern musste nur den Geschmack von dem des destillierten Wassers unterscheiden. In der dritten Gruppe musste sie den Geschmack von dem Geschmack einer im voraus bekannten Substanz unterscheiden.

Die Ergebnisse der an der Zungenspitze und der Zungenwurzel gemachten Versuche, in der ersten und zweiten Gruppe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Geschmacks-substanz	Qualität d. Empfindung	Reaktionsdauer a. d. Zungenspitze		Reaktionsdauer a. d. Zungen-wurzel. Erste Gruppe
		Erste Gruppe	Zweite Gruppe	
	Berührung	0,1507 Sek.		0,1409
NaCl	Salzig	0,1598	0,2766	0,543
Zitronensäure . . .	Sauer	0,1676	0,3315	
Zucker.	Süss	0,1639	0,3840	0,552
Chininsulfat	Bitter	0,2196	0,4129	0,502

Wie v. Vintschgau hervorhebt, ist also das Ergebnis der Versuche an der Zungenspitze in der ersten Gruppe, dass die Reaktionsdauer am kürzesten bei Berührung, aber länger und überall ziemlich gleich gross bei dem salzigen, süssen und sauern Geschmack ist. Am längsten ist sie beim bitteren Geschmack. An der Zungenbasis ist dagegen die Reaktionsdauer für alle Geschmacksqualitäten ungefähr gleich gross.

---

[1] v. Vintschgau u. Hönigschmied Arch. f. d. ges. Physiol. X. XII. XIV. referiert in Hermanns Handbuch d. Physiol. d. Sinnesorg. III. 2.

[2] Vgl. G. Cohn, Die organischen Geschmacksstoffe. Berlin 1914.

Die Versuchsergebnisse von Beaunis sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Spitze		Rücken	
	min.	max.	min.	max.
Salzig	0,25	0,72	0,70	0,146
Süss	0,30	0,85		0,166
Sauer	0,64	0,70	0,165	0,190
Bitter	2,00	7,00	i. Mittel 1 Sek.	i. Mittel $^1/_2$ S.

Nach ihm ist also die Reaktionszeit viel länger für Bitter als für die anderen Qualitäten, sowohl auf der Zungenspitze als auf der Zungenbasis. Die Reaktionszeiten des salzigen, sauren und süssen Geschmacks sind ungefähr gleich lang, doch wie auch in v. Vintschgaus und Hönigschmieds Versuchen beim salzigen im allgemeinen am kürzesten.

Die Reaktionszeiten in den Versuchen der ersteren Autoren sind wohl zu niedrig, doch können natürlich individuelle Verschiedenheiten vorkommen.

Die Ergebnisse dieser Versuche stehen nun meines Erachtens im folgenden Zusammenhang mit der von uns entwichelten Anschauung. Die Reaktionszeit der Geschmacksempfindung ist natürlich abhängig von der Diffusionsgeschwindigkeit der zu schmeckenden Substanz. Je schneller ein Stoff diffundiert, desto kürzer ist die Reaktionszeit der von ihm verursachten Empfindung. Wie man sieht, ist es auch so in den zitierten Versuchen; die Reaktionszeit des bitteren Geschmacks, welche von dem langsam diffundierenden Chininsulfat hervorgerufen wird, ist viel länger als die übrigen, unter sich ungefähr gleich grossen Reaktionszeiten. Die diese Qualitäten verursachenden Stoffe haben auch Diffusionskoeffizienten, welche kleiner sind, doch ist derjenige von NaCl am grössten und die entsprechende Reaktionszeit ist auch am kürzesten.

In v. Vintschgaus und Hönigschmieds Versuchen an der Zungenbasis sind die Reaktionszeiten für alle Qualitäten ungefähr gleich gross. Werauf das beruht ist schwer zu eruiren.

47. Die Frage, ob der Geschmack desselben Stoffes auf allen Teilen der Zunge dieselbe Qualität hat, ist auch untersucht worden. v. Vintschgau und auch Öhrwall bemerken, dass hier individuelle

Verschiedenheiten bestehen. Nach den Befunden einiger Autoren (Horn, Picht) ist an den Papillae circumvallatae, d. h. an der Zungenwurzel der Geschmack der meisten Substanzen bitter, und zwar auch solcher Substanzen, die auf den übrigen Teilen der Zunge, an der Spitze und den Rändern, eine andere Qualität vermitteln. Guyot und Lussana[1] konnten auch andere Qualitäten auf der Zungenbasis schmecken. Dass der Geschmack aller Stoffe auf der hinteren Zunge bitter ist, ist jedoch nach Öhrwall eine allgemeine Erscheinung. Nach ihm schmeckt beispielsweise eine konzentrierte $MgSO_4$-Lösung an der Zungenspitze bitter und salzig, an den Papillae foliatae nur bitter.

Das Unterscheidungsvermögen für die Geschmacksqualitäten an der Zungenspitze ist bei verschiedenen Individuen sehr verschieden. v. Vintschgau hat auf Grund dieses Vermögens folgende vier Gruppen unterschieden: 1. Individuen, die an der Zungenspitze alle vier Qualitäten unterscheiden, 2. Individuen die genau Süss, Salzig und Sauer, aber weniger genau Bitter unterscheiden, 3. Individuen, die die verschiedenen Geschmacksqualitäten nur schwer unterscheiden, 4. Individuen, die keine Geschmacksempfindungen besitzen.

In der zweiten Gruppe nimmt Bitter gegenüber den anderen Geschmacksqualitäten eine Sonderstellung ein. Mit diesen Umständen stehen meines Erachtens noch die folgenden Erscheinungen im Zusammenhang.

Wagner[1] hat beobachtet, dass man, wenn man mit dem trockenen Finger auf den hinteren Teil der Zunge drückt, einen bitteren Geschmack empfindet, der etwas später in einen »ekelhaften» übergeht. Nach Valentin[1] vergleichen manche Menschen das Gefühl, das ein leichtes Gewicht auf der Zunge hervorruft, mit einem bitteren Geschmack. Baly[1] hat bemerkt, dass, wenn man schnell auf die Zungenspitze oder die Ränder nahe der Spitze klopft, sodass die Papillen gereizt werden, bald ein saurer, bald ein salziger, an den von dem elektrischen Strom erzeugten Geschmack erinnernder Geschmack entsteht. Die Beobachtung Wagners kann jederzeit nachgeprüft werden, sie ist ausserordentlich typisch. Der Befund Balys ist meiner Ansicht nach nicht so klar, doch empfindet man einen gewissen Geschmack, vielleicht am ehesten einen salzigen, wenn man mit schneller, flitzender Bewegung an die Zungenspitze schlägt.

---

[1] Hermanns Handbuch.

Kiesow und Hahn[1] haben gezeigt, dass der Tast- und Schmerzsinn an der Zungenspitze am feinsten sind.

Ferner ist eine interessante klinische Beobachtung Lehmanns[2] zu erwähnen. Eine Person hatte eine einseitige traumatische Glossopharyngeus-Lähmung. Die Sensibilität war auf beiden Seiten, sowohl auf der gelähmten als auf der gesunden, sehr fein und beiderseits gleich gross. Auf der gelähmten Seite war der Geschmack erloschen. Säuren und Salze verursachten hier nur ein brennendes Gefühl. Auch Glyzerin rief ein ähnliches Gefühl hervor, im allgemeinen aber erzeugte es keine Empfindung. Zucker und Chinin lösten keinerlei Empfindung aus.

Weiter sind einige Momente hervorzuheben, welche die Intoxikation des Geschmacks betreffen[3]. Wir wissen hierüber folgendes. Kokain lässt den Geschmack viel schneller verschwinden als die Schmerz- und Tastempfindungen. Am vollständigsten vernichtet es den bitteren Geschmack, in viel geringerem Grade die übrigen Qualitäten. Gymnemasäure zerstört den bitteren und süssen Geschmack, die Einwirkung ist von längerer Dauer als beim Kokain. Den sauern und salzigen Geschmack beeinflusst die Gymnemasäure fast garnicht. Sowohl der Schmerz- als der Tastsinn bleiben erhalten. Das Eukain B wirkt am intensivsten zerstörend auf den bitteren Geschmack, dann auf den süssen, den salzigen und am wenigsten auf den sauern, aber in genügender Konzentration und genügend lange Zeit gebraucht, kann es alle Qualitäten aufheben. Den bitteren vernichtet es schon in schwächerer Konzentration, die anderen schwächt es nur[4]. An der Hand unserer Anschauung würden diese Erscheinungen etwa in folgender Weise erklärt werden können.

An der Zungenwurzel schmecken alle Stoffe den meisten Individuen bitter, auch Berührung und Druck rufen hier einen bitteren Geschmack hervor. Bei der Reizung der Geschmacksorgane des Zungenwurzels erhalten wir also immer dieselbe Geschmacksqualität, die des Bitteren, welcherlei der Reiz auch sei. Die Stoffe, welche an der Zungenspitze einen salzigen, süssen oder sauern Geschmack erzeugen und die im Geschmackssystem ein elektrisches Potential

---

[1] Kiesow und Hahn, Zeitschr. f. Psychol. und. Physiol. d. Sinnesorg. 26, S. 383; 1901.

[2] Vgl. Öhrwall, Skand. Arch. f. Physiol. 2, S. 8; 1891.

[3] Vgl. Handbuch d. physiol. Methodik, von R. Tigerstedt. III. 1.

[4] A. Fontana, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 28, S. 253; 1902.

bilden können, schmecken hier ebenfalls bitter. Wir dürfen folglich sagen, dass der dem Geschmacksorgan der Zungenwurzel adäquate Reiz nur in der Adsorption der zu schmeckenden Substanz besteht.

An der Zungenspitze hinwieder vermögen die meisten Individuen die verschiedenen Geschmacksqualitäten zu unterscheiden, aber dies Vermögen kann auch herabgesetzt sein, wie die vier Klassen v. Vintschgaus zeigen. Eine mechanische Reizung kann an der Zungenspitze ebenfalls eine von diesen Qualitäten hervorrufen (Beobachtung Balys). Den adäquaten Reiz des Geschmacksorgans der Zungenspitze stellen sowohl die hier stattfindenden Adsorptionsprozesse als auch die sich bildenden elektrischen Potentiale dar.

48. In diesem Zusammenhang erhebt sich die Frage, ob diese verschiedenen Qualitäten der Geschmacksempfindung, deren adäquate Reize verschiedener Art sind, alle von denselben peripherischen Apparaten und Nerven vermittelt werden.

Wie ich erwähnte, bringen Kokain, Gymnemasäure und Eukain B nur oder im höchsten Grade den bitteren Geschmack zum Erlöschen. Die übrigen Geschmacksqualitäten, wie auch den Schmerz- und Tastsinn beeinträchtigen sie nicht. Diese Stoffe setzen also wahrscheinlich die Funktion derjenigen Organe, deren Reiz der Adsorptionsprozess ist, herab, aber nicht derjenigen, die auf ein elektrisches Potential oder auf mechanische Reizmittel reagieren. Ebenso wird der bittere Geschmack im höchsten Masse durch niedrige und hohe Temperaturen gestört.

Diese Erscheinungen machen es wahrscheinlich, dass verschiedenartige Organe die Entstehung des Bitteren und der übrigen Geschmacksqualitäten vermitteln. Für diese Auffassung spricht auch die zweite Klasse der oben mitgeteilten Einteilung v. Vintschgaus, in der das Vermögen der Zungenspitze, das Bittere, aber nicht die anderen Geschmacksqualitäten zu vermitteln, herabgesetzt war.

Hierauf deutet auch die Beobachtung Lehmanns bei der Glossopharyngeus-Lähmung. Auf der gelähmten Seite war der bittere Geschmack ganz verschwunden. Der saure, salzige und süsse Geschmack waren auch erloschen, aber Stoffe, die einen von diesen Geschmäcken besassen, verursachten einen brennenden Schmerz. Die Schmerz- und die Tastempfindung waren vollständig erhalten.

Dieser Fall liefert fast den Beweis dafür, dass, wenn aus der Empfindung des Sauern, Salzigen und Süssen der Faktor ausgeschaltet wird, welcher durch den Adsorptionsprozess wirksam ist, die Zurückbleibende Empfindung, die nur durch das elektrische Potential hervor-

gerufen wird, zunächst an eine Schmerz- und Tastempfindung erinnert. In dieselbe Richtung deutet auch die Beobachtung, dass, je konzentrierter die Lösung eines sauern, salzigen oder süssen Elektrolyten ist, je grösser also die von ihm in dem Geschmackssystem erzeugten elektrischen Potentiale sind, desto mehr die Empfindung einer Tastempfindung gleicht. Hiermit will ich nicht sagen, dass bei sehr hohen Konzentrationen nicht auch durch die irreversiblen, im Geschmackssystem stattfindenden Prozesse echte Tastempfindungen entständen. Ebenso beruht hierauf möglicherweise der schon erwähnte Umstand, dass manche Autoren Salzig und Sauer (auch Süss) für weniger reine Geschmacksempfindungen als Bitter angesehen, sie teilweise als Tastempfindungen aufgefasst haben.

Die vorstehend angeführten Momente zeigen also, dass der bittere Geschmack gegenüber den anderen Geschmacksqualitäten eine Sonderstellung einnimmt. Die von uns zugrunde gelegte Anschauung über die Reize der Geschmacksqualitäten steht denn auch hiermit im Einklang. Es ist ausserdem wahrscheinlich, dass die bittere Geschmacksempfindung durch spezielle Endorgane vermittelt wird, die keine anderen Geschmacksqualitäten zu vermitteln imstande sind (die Geschmacks-Empfindungen der Zungenwurzel oft nur von bitterer Qualität). Die anderen Qualitäten werden vermutlich ebenfalls von besonderen Endorganen vermittelt, die ihrerseits nicht fähig sind den bitteren Geschmack zu vermitteln (Intoxikation des Geschmacks). Über diese Organe lässt sich schwer etwas sagen, wahrscheinlich bestehen in den peripherischen Geschmacksorganen Verschiedenheiten. Die Versuche von Öhrwall[1] scheinen auch zu zeigen, dass den verschiedenen Qualitäten verschiedene Endorgane zugeordnet sind.

VII. Über die Kompensation des Geschmacks.

49. Unter Kompensation des Geschmacks versteht man bekanntlich die Erscheinung, dass zwei Substanzen, die je eine eigene Geschmacksqualität besitzen, bei gleichzeitiger Einführung in den Mund gegenseitig ihre Qualität aufheben und sich Geschmacklosigkeit oder ein schwacher, fader Geschmack ergibt.

In der Litteratur liegen über die Kompensation sehr wenige Angaben vor. v. Vintschgau[2] erwähnt einige hierhergehörige Phäno-

[1] loc. cit. S. 183.

[2] v. Vintschgau, Hermanns Handbuch d. Physiol. d. Sinnesorg. III. 2.

mene. Er bemerkt, dass der saure Geschmack durch süssen Zucker kompensiert werden kann. Brücke vermutet auf Grund dieser Beobachtung, dass eine Kompensation im Zetralnervensystem stattfinde, weil Zucker und Säure nicht chemisch mit einander reagieren und daher auf diese Weise nicht direkt ihre Geschmacksqualitäten aufheben können. Ebenso ist es nach seiner Ansicht nicht denkbar, dass der Zucker die Erregbarkeit der Nerven oder Organe herabsetzte, welche die saure Empfindung vermitteln. Nach v. Vintschgau besteht das einzige sichere Ergebnis auf diesem Gebiet darin, dass der bittere Geschmack durch keine andere Qualität kompensiert werden kann. Von den übrigen Qualitäten kann nach Kiesow[1] bei niedrigeren Konzentrationen der salzige Geschmack durch den sauren, der salzige durch den süssen und der saure durch den bitteren kompensiert werden. Öhrwall leugnet das Vorhandensein von Kompensionserscheinungen im Bereich des Geschmacks.

Wenn Kompensationserscheinungen tatsächlich im Geschmacksorgan vorhanden sind, liegen ihnen allem Anschein nach in der Peripherie stattfindende Vorgänge zugrunde; für diese Auffassung sprechen auch die im folgenden wiedergegebenen Beobachtungen.

Da die Geschmacksqualitäten Salzig, Sauer und Süss (wenigstens dass Süsse der Elektrolyte) entstehen, wenn die zu schmeckende Substanz im Geschmackssystem elektrische Potentiale bildet, während ein bitterer oder fader Geschmack erhalten wird, wenn kein Potential entsteht, sondern nur eine Adsorption erfolgt, ist es natürlich anzunehmen, dass zwei der erstgenannten Qualitäten einander kompensieren, d. h. der Geschmack wird fade oder verschwindet vielleicht ganz wenn die Adsorption gering ist, so bald die elektrischen Potentiale, welche von den die ersterwähnten Qualitäten erzeugenden Stoffen gebildet werden, einander aufheben. Wenn die von verschiedenen Stoffen hervorgerufenen Potentiale entgegengesetzt sind, können sie sich aufheben oder gegenseitig abschwächen, und bei geeigneter Kombination der verschiedenen Stoffe muss also eine Kompension ihrer Geschmäcke erscheinen.

Der bittere Geschmack rührt nach dem vorhergehenden von einem Adsorptionsprozess im Geschmackssystem her; wenn zu der bitter schmeckenden Substanz eine saure, salzige oder süsse hinzugefügt wird, als deren Reiz sich ein elektrisches Potential ergibt, kann dieses also nicht mit Hilfe der bitteren Substanz aufgehoben werden, der

[1] Kiesow, Wundts Philos. Studien, 12, S. 255; 1896.

saure, salzige oder süsse Geschmack bleibt folglich erhalten. Es kann mithin keine Kompensation des bitteren Geschmacks stattfinden, was auch durch die allgemeine Erfahrung bestätigt wird.

Es ist auch zu beachten, dass eine vollständige Kompensation, d. h. ein vollständiges Verschwinden des Geschmacks, nur dann stattfinden kann, wenn die Konzentrationen der Komponenten niedrig sind; sind sie höher, so können sich zwar die elektrischen Potentiale aufheben, aber die Adsorption der Substanzen ist doch so gross, dass sich lediglich ein dem Adsorptionsreiz entsprechender Geschmack, also Fade oder Bitter, bildet.

50. Nach Planck konnte das elektrische Diffusionspotential zwischen den Lösungen zweier gleichwertigen Elektrolyte bestimmt werden:

$$E = 0{,}0576 \,.\, \log \xi.$$

Das elektrische Potential wird aufgehoben, $E = 0$, wenn $\xi = 1$. Setzen wir dies in die erste der Gleichungen ein[1], aus denen die Hilfsgrösse ξ ermittelt wird, so erhalten wir $n = 1$, und durch Einsetzung dieses in die zweite jener Gleichungen, finden wir $U_2 - U_1 = V_2 - V_1$.

Bei der Kompensation finden sich in dem äusseren Glied der sich im Geschmackssystem bildenden elektrischen Kette zwei Elektrolyte, nämlich die beiden Geschmackselektrolyte: bezeichnen wir die Wanderungsgeschwindigkeiten ihrer Ionen mit u_1, v_1 und u_2, v_2, die Konzentrationen mit c_1 und c_2 und die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen des Elektrolyten im inneren Glied der Kette, also in dem Speichel oder der Flüssigkeit der Geschmackszellen, mit u', v', die Konzentration mit c', so bedeuten

$$U_1 = u_1 \,.\, c_1 + u_2 \,.\, c_2,$$
$$V_1 = v_1 \,.\, c_1 + v_2 \,.\, c_2,$$
$$U_2 = u' \,.\, c'.$$
$$V_2 = v' \,.\, c'.$$

Die obige Gleichung können wir daher folgendermassen Schreiben:

$$(u' - v')\, c' = (u_1 - v_1)\, c_1 + (u_2 - v_2)\, c_2.$$

Aus dieser Gleichung ersehen wir, dass die Konzentrationen c_1 und c_2 der einander kompensierenden Elektrolyte lineare Funktionen voneinander sein müssten, denn c' ist konstant, ebenso die Wanderungsgeschwindigkeiten aller Ionen.

---

[1] Siehe S. 155.

Wir können noch das folgende feststellen. Da u' und v', von denen jenes die Wanderungsgeschwindigkeit des K-Ions, dieses höchstwahrscheinlich die des Cl-Ions ist, sehr wenig voneinander abweichen, ist der Faktor $u' - v'$ recht klein; auch c' ist klein, weshalb die ganze linke Seite der Gleichung einen sehr kleinen Wert erhält. Weil c_1 und c_2 natürlich immer positiv sind, müssen, damit die rechte Seite der Gleichung ebenfalls einen kleinen Wert erhält, der Gleichung Genüge geschieht und eine Kompensation stattfindet, die Grössen $u_1 - v_1$ und $u_2 - v_2$ im allgemeinen entgegengesetzte Vorzeichen haben, d. h. das Kation des einen und das Anion des anderen Elektrolyten müssen schneller wandern als das andere Ion.

Gestatten wir uns speziellere Annahmen über den inneren Elektrolyten der Kette zu machen und setzen wir voraus, dass er KCl sei, so ist $u' = 64{,}6$ und $v' = 65{,}5$ und $u' - v' = -0{,}9$. Da c' auch eine kleine Zahl, etwa 0,01—0,06 ist, wird also auf der linken Seite der Gleichung ein recht kleiner negativer Zahlwert stehen. Der Zahlwert der rechten Seite der Gleichung wird auch klein und negativ, d. h. die Kompensation wird mithin in den folgenden Fällen möglich.

Sowohl $u_1 - v_1$ als $u_2 - v_2$ sind negativ, die Geschwindigkeit des Kations beider kompensierenden Elektrolyte ist kleiner als die des Anions. Wenn dabei sowohl $u_1 - v_1$ als $u_2 - v_2$ ihrem absoluten Werte nach viel grösser sind als $u' - v'$, müssen c_1 und c_2 viel kleiner sein als c', welche ca. 0,01—0,06 ist, wonach die Werte von c_1 und c_2 in diesem Fall sehr klein, wahrscheinlich kleiner als die Schwellenkonzentrationen dieser Elektrolyte sein müssen, sodass von einer Kompensation des Geschmacks nicht die Rede sein kann, weil die Elektrolyte auch bei getrenntem Schmecken keine Geschmacksempfindung hervorrufen würden. Die Grenze der untersten und der mittleren Konzentrationen der meisten einwertigen Elektrolyte ist etwa 0,02, erst bei höheren Konzentrationen als dieser haben sie einen spezifischen Geschmack. Im obigen Fall werden c_1 und c_2 kleiner als die mittlere Konzentration. Bei getrenntem Schmecken hätten sie also keinen spezifischen Geschmack, sondern höchstens den Geschmack der niedrigsten Konzentration, mithin im allgemeinen einen süssen. Wir können also eigentlich auf keinen Fall von einer Kompensation der Geschmacksqualitäten reden, wenn das Kation bei beiden Elektrolyten langsamer als das Anion wandert und die Differenz in der Geschwindigkeit recht gross ist. Ein solches Elektrolytenpaar sind z. B. NaCl und LiCl.

Wenn $u_1 - v_1$ und $u_2 - v_2$ beide fortwährend negativ sind, das eine aber seinem absoluten Wert nach viel grösser als $u' - v'$, wäh-

rend das andere ziemlich ebenso gross ist wie dieses, wird die Konzentration desjenigen Elektrolyten, bei dem die Wanderungsgeschwindigkeiten der Ionen erheblich voneinander abweichen, sehr klein sein, wahrscheinlich unter dem Schwellenwert oder wenigstens unter der mittleren Konzentration liegen, sodass er, allein für sich geschmeckt, keinen oder zum mindesten keinen spezifischen Geschmack hervorrufen würde. Wir können also eigentlich auch hier nicht von Kompensation sprechen. Einen solchen Fall stellt z. B. das Elektrolytenpaar KCl, NaCl dar. Wir dürfen folglich in keinem Fall eine Geschmackskompensation zweier solchen Elektrolyte erwarten, bei welchen beiden das Kation langsamer wandert als das Anion.

Sind zweitens $u_1 - v_1$ und $u_2 - v_2$ beide positiv, so kann der Gleichung kein Genüge geschehen. Zwei Elektrolyte, bei denen beiden das Kation schneller wandert als das Anion, können also ihren Geschmack nicht gegenseitig kompensieren. Z. B. zwei Säuren.

Der dritte Fall ist schliesslich, dass $u_1 - v_1$ und $u_2 - v_2$ entgegengesezte Vorzeichen haben. In diesem Fall kann der Gleichung durch verschiedene Werte von c_1 und c_2 genügt werden, die lineare Funktionen voneinander sind. Zwei Elektrolyte, bei deren einem das Kation, beim anderen das Anion schneller wandert, können einander also kompensieren. Z. B. KF und NaCl.

Ich habe einige Versuche angestellt, um zu prüfen, ob diese Regeln Giltigkeit besitzen. Wir mustern der Reihe nach die Elektrolytenpaare durch, welche die oben angeführten Fälle vertreten.

LiCl und NaCl. Bei beiden wandert das Kation viel langsamer als das Anion. Wie wir aus der Tabelle 42 sehen, kann der Geschmack einer 0,020 n. LiCl-Lösung nicht durch eine NaCl-Lösung von höherer Konzentration als 0,010 n. kompensiert werden, denn der Geschmack des Gemisches wird bei zunehmender Konzentration von NaCl nur immer salziger. Da die Schwellenkonzentration von NaCl nur etwas unter 0,010 liegt, haben niedrigere Konzentrationen keinen Geschmack, von einer Kompensation kann also auch bei noch niedrigeren NaCl-Lösungen nicht die Rede sein. 0,020 n. LiCl kann mithin nicht durch NaCl kompensiert werden. Höhere Konzentrationen von LiCl können wir ebenfalls nicht durch NaCl kompensieren, der Geschmack bleibt beständig salzig. Die niedrigeren Konzentrationen hinwieder liegen unterhalb der mittleren, sodass wir auf keinen Fall von einer eigentlichen Kompensation sprechen könnten. LiCl und NaCl können einander also nicht kompensieren, wie auch zu erwarten war.

Tabelle 42.

LiCl	NaCl	Geschmack d. Mischung
0,020	0,010	salzig, stärker als 0,020 n. LiCl.
0,020	0,020	salzig, stärker
0,020	0,030	salzig, noch immer stärker.

KCl und NaCl. Bei beiden wandert das Kation langsamer, bei KCl ist der Unterschied der Wanderungsgeschwindigkeiten klein, bei NaCl gross. Aus dem Versuchsprotokoll, Tabelle 43 sehen wir, dass 0,020 n. KCl nicht durch 0,010—0,030 n. NaCl kompensiert werden kann. Wenn die Konzentration der NaCl-Lösung kleiner ist als 0,010, nämlich 0,0050, hat sie keinen Geschmack mehr, weil ja diese Konzentration alsdann unterhalb des Schwellenwertes liegt. Von einer Kompensation von 0,020 n. KCl und dem zwischen den Konzentrationen 0.0050 und 0,01 n. liegenden NaCl ist folglich nicht zu reden, der anfangs bittere Geschmack der Lösung geht nur bei Zunahme der Konzentration von NaCl in einen salzigen über. Höhere und niedrigere Konzentrationen von KCl (wie vorher von LiCl) können wir auch nicht durch NaCl kompensieren.

Tabelle 43.

KCl	NaCl	Geschmack d. Mischung.
0,020	0,0025	Geschmack des KCl, bitter.
0,020	0,0050	» » » »
0,020	0,010	salzig, ganz schwach; der bittere Geschmack von KCl verschwunden.
0,020	0,020	» , stärker.
0,020	0,030	» , noch immer stärker.

K-Azetat und NaCl. Bei jenem wandert das Kation, bei diesem das Anion schneller. Aus dem Versuchsprotokoll, Tabelle 44 sehen wir, dass die gemischte Lösung, in der die Konzentration des K-Azetats 0,030 und die des NaCl 0,0375 ist, einen faden Geschmack besitzt, nicht den säuerlich-fade-salzigen von KF, auch nicht den salzigen von

NaCl. Es hat folglich eine Kompensation zwischen den spezifischen Geschmacksqualitäten dieser Salze stattgefunden, denn die angewandten Konzentrationen sind ja mittlere.

Tabelle 44.

K-Azetat	NaCl	Geschmack d. Mischung
0,030	0,030	Geschmack von K-Azetat.
0,030	0,035	» » »
0,030	0,0375	Die Qualität ist undefinierbar (fade).
0,030	0,040	Vielleicht ein schwacher Geschmack von NaCl.
0,030	0,0425	salzig, ganz schwach.
0,030	0.045	» , schwach.

NaCl und HCl. Wie im vorhergehenden Fall. Aus dem Versuchsprotokoll, Tabelle 45, sehen wir, dass alle angewandten NaCl-Konzentrationen durch HCl kompensiert werden konnten. Besonders ist zu bemerken, dass sich das Gemisch, in dem die Konzentration von NaCl 0,040 und die von HCl 0,00040—0,00055 beträgt, inbezug auf seine Qualität überhaupt nicht charakterisieren lässt, am ehesten hat es einen faden Geschmack. Und dennoch sind die Geschmäcke von NaCl und HCl bei diesen Konzentrationen ausserordentlich deutlich salzig und sauer. Die Kompensation ist also vortrefflich. Da der Geschmack von NaCl bei diesen Konzentrationen der spezifische, der von HCl in der letzten Gruppe sauer, also ebenfalls der spezifische ist, haben wir hier eine eigentliche Kompensation. In den beiden ersten Gruppen liegt die Konzentration von HCl unterhalb oder nahe der Schwellenkonzentration, sodass man von keiner eigentlichen Kompensation der Geschmacksqualitäten sprechen kann.

Tabelle 45.

NaCl	HCl	Geschmack d. Mischung.
0,020	0,00010	salzig, schwach.
0,020	0,000125	ohne Geschmack; vielleicht ganz schwach sauer?
0,020	0,00015	fade, beinahe ohne Geschmack.
0,020	0,00020	sauer, schwach.

NaCl	HCl	Geschmack d. Mischung.
0,030	0,00015	salzig, schwach.
0,030	0,00020	fade am besten, Geschmack undefinierbar.
0,030	0,00025	sauer, sehr schwach.
0,040	0,00025	salzig, schwach.
0,040	0,00030	salzig, ganz deutlich.
0,040	0,00035	G. undefinierbar, vielleicht schwach salzig.
0,040	0,00040	G. undefinierbar, beinahe kein G.
0,040	0,00045	»
0,040	0,00050	»
0,040	0,00055	»
0,040	0,00060	sauer, deutlich.
0,040	0,00075	sauer.

KCl und HCl. Bei diesem wandert das Kation viel schneller als das Anion, bei jenem beide fast gleich schnell. Erwartungsgemäss findet keine Kompensation statt. Der Geschmack des Gemisches wird sofort sauer, wenn die Konzentration von HCl die Schwellenkonzentration dieses Stoffes überschreitet.

Tabelle 46.

KCl	HCl	Geschmack d. Mischung.
0,020	0,00015	bitter, schwach.
0,020	0,00030	sauer, schwach.
0,020	0,00050	sauer.
0,020	0,00100	sauer.
0,030	0,00015	bitter.
0,030	0,00020	»
0,030	0,00025	»
0,030	0,00030	sauer.
0,030	0,00050	»
0,030	0,00060	»

Die obigen Versuche sprechen meiner Ansicht nach für die Richtigkeit der Auffassung, dass die Kompensation eine peripherische Erscheinung ist; sie wird durch im Geschmackssystem, nicht im Zentralnervensystem stattfindende Prozesse verursacht. Die Resultate der Versuche stehen ausserdem nicht im Widerspruch mit der von uns entwickelten Anschauung über die Natur der Kompensation, im Gegenteil stützen sie sie, indem sie unter anderem in befriedigender Weise den Grund erklären, weshalb der bittere Geschmack nicht zu kompensieren ist.

VIII. Die Qualitätenreihe des Geschmacks.

51. Wie Helmholtz[1] dargelegt hat, können wir bei der Untersuchung der in jedem einzelnen unserer Sinnesorgane stattfindenden Vorgänge, drei verschiedene Teile unterscheiden.

Den ersten Teil bildet die Untersuchung, wie ein das Organ erregendes Agens mit den peripherischen Teilen der Sinnesorgane in Verbindung gebracht wird oder gelangt. Bei dem Sehorgan besteht dieser Teil also darin, dass wir erforschen, wie das Licht dazu kommt die Endigungen des Sehnerven zu reizen, d. h. er ist der Hauptsache nach die Dioptrik des Auges. Bei dem Gehörorgan andererseits ist es die Untersuchung über den Verlauf der Schallwellen durch das äussere und Mittelohr nach den im Innenohr befindlichen Endigungen des Gehörnerven. Bei dem Geschmacksorgan bildet diesen ersten Teil der Untersuchung die Frage, wie die schmeckbare Substanz mit den Endigungen der in den Geschmackskörperchen liegenden Geschmackszellen oder -nerven in Kontakt kommt. Infolge des Baues des Geschmacksorgans, die Geschmackskörperchen liegen ja teilweise in tiefen Furchen, und ihre Öffnungen sind ausserordentlich klein (Durchmesser 2,7—4,5 μ), kann dies, wie wir oben ausgeführt haben, nur durch Diffusion der zu schmeckenden Substanz geschehen. Die Geschwindigkeit dieser Diffusion ist wahrscheinlich auch in einigem Grade von der Geschwindigkeit abhängig, mit der die Geschmackslösung auf der Zunge durcheinander gemischt wird, weshalb auch in allen Versuchen das Tempo des Durcheinandermischens mit der Zunge nach Möglichkeit gleich schnell gehalten wurde. Dies ist der erste, physikalische Teil der physiologischen Untersuchung.

Der zweite Teil umfasst die Untersuchung, wie die Reize auf

[1] Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik und die Lehre von den Tonempfindungen.

die peripheren Endigungen des Sinnesorgans einwirken und wie möglicherweise verschiederartige Reize verschiedenen Empfindungen entsprechen. Dies ist der eigentliche physiologische Teil der Untersuchung. In der vorliegenden Studie gehört hierher das, was als Hypothese über den Adsorptionscharakter der dem Geschmacksorgan adäquaten Reize und die im Geschmackssystem auftretenden elektrischen Potentiale sowie über die Qualitäten der Geschmacksempfindung auseinandergesetzt worden ist. Fast alles oben Dargestellte fügt sich also zunächst dem physiologischen Teil der Untersuchung ein.

An dritter Stelle kann noch untersucht werden, wie sich aus den Empfindungen Wahrnehmungen äusserer Objekte gestalten. Dies ist der psychologische Teil der Untersuchung, bei dem auch ästhetische Rücksichten eine Rolle spielen können.

52. Die älteren Physiologen haben im allgemeinen mit den Geschmacksempfindungen mehrere ganz andere Empfindungen vermischt, die mit den ersteren nur das gemeinschaftlich haben, dass auch sie in der Mundhöhle lokalisiert werden. So rechnete Linné zu den Geschmacksempfindungen die Empfindung des Feuchten, Trocknen, Fettigen, Adstringierenden, Scharfen und Schleimigen. Später wurde für diese Empfindungen nachgewiesen, dass sie nichts mit dem Geschmack direkt zu tun haben. Fick dürfte der erste sein, der die heute allgemein anerkannten Qualitäten: Süss, Salzig, Bitter, Sauer aufstellte. Kiesow steht ebenfalls auf diesem Standpunkt.

In einer vor zwei Jahren veröffentlichten Darstellung bringt Henning[1] neue Gesichtspunkte über die Beziehungen der Qualitäten des Geschmacks vor, die ausserordentlich aufklärend sind. Nach ihm ist es nicht möglich in der Geschmacksempfindung vier schroff voneinander abweichende Qualitäten zu unterscheiden, die keine Übergangsgeschmäcke zwischen sich hätten. Es gebe keine vier isolierten Geschmacksqualitäten, sondern zwischen je zwei verschiedenen Qualitäten lägen zahlreiche Geschmacksempfindungen, die in ihren Qualitäten sowohl an die eine als an die andere erinnerten. So seien beispielsweise zwischen dem reinen Süssen und dem reinen Salzigen mehrere Qualitäten vorhanden, die sowohl dem Süssen als dem Salzigen zuneigten. Zwischen Süss und Salzig gebe es also eine

[1] H. Henning, Die Qualitätenreihe des Geschmacks. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane, 74, S. 203; 1916.

Reihe von Qualitäten, beginnend mit einer solchen, die vorzugsweise an Süss erinnert, aber eine entfernte Ähnlichkeit mit Salzig hat, und bis zu einer Qualität, die hauptsächlich an Salzig erinnert, aber eine entfernte Ähnlichkeit mit Süss aufweist. Wir hätten also hier eine förmliche Qualitätenreihe, in der jeder Empfindung nach Henning ein einheitlicher Charakter zukommt. Der Grund, weshalb dieser Umstand nicht schon früher beachtet worden ist, ist nach Henning vor allem der, dass die Experimentatoren absichtlich bei einem Geschmack mit zwei Ähnlichkeitsbeziehungen die eine unberücksichtigt gelassen und nur das Vorhandensein der anderen betont haben. In Wirklichkeit aber existierten zahllose Geschmacksqualitäten, die nicht nur rein süssen, salzigen, bitteren oder sauren Charakter haben, sondern Übergangsgeschmäcke dieser Qualitäten sind.

Mustert man die oben mitgeteilten Versuchsprotokolle über den Geschmack verschiedener Elektrolyte durch, so findet man, dass es sich tatsächlich so verhält. Die meisten Elektrolyte haben bei den niedrigsten Konzentrationen einen süssen Geschmack, der bei mittlerer Konzentration in den spezifischen Geschmack der Substanz übergeht. Der Übergang erfolgt aber nicht jählings, sondern sukzessiv, ohne schroffe Grenzen. Beispielsweise sind die niedrigsten Konzentrationen von NaCl süss, die mittleren salzig, aber an der Grenze derselben zeigt die Qualität des Geschmacks sowohl mit der ersteren als mit der letzteren Ähnlichkeit; der Geschmack ist süss-salzig oder salzig-süss. Ebenso ist der Geschmack von LiCl bei der ganzen mittleren Konzentration süss-salzig. Der von KCl ist an der Grenze der niedrigen und mittleren Konzentration süss-bitter, an der Grenze der mittleren und hohen salzig-bitter. Der Geschmack von $KHSO_4$ und ebenso der von KF ist bei höheren Konzentrationen sauer-salzig, der des letzteren bei niedrigeren Konzentrationen mehr sauer-fade. Bei den Säuren und Basen ist der Geschmack in niedrigeren Konzentrationen sauer, bzw. süss, bei höheren erhält er eine bittere Nuance. Indem wir die Konzentration der vorerwähnten Substanzen sukzessiv verändern, können wir eine Reihe erzielen, in der die Qualität ganz kontinuierlich in andere übergeht.

In den obigen Beispielen sind alle die Übergangsgeschmäcke der verschiedenen Qualitäten angeführt, die in unseren Versuchen vorkommen. Diese waren also: süss-salzig mit allen Nuancen vom reinen Süss bis zum reinen Salzig, süss-bitter, salzig-sauer, salzig-bitter und sauer-bitter. Alle diese Übergangsgeschmäcke sind von einer einzelnen schmeckbaren Substanz verursacht, und sie sind, wie

Henning hervorhebt, einfache Qualitäten mit zweiseitiger Ähnlichkeit, wie im Bereich der Farbenempfindungen z. B. Orange zweiseitige Ähnlichkeit hat, nämlich mit Rot und Gelb.

Unter den obigen Qualitäten fehlt nur eine mögliche Kombination mit zweiseitiger Ähnlichkeit, nämlich süss-sauer. Diesen Geschmack besitzt keine von diesen Substanzen, aber in einem Gemisch von Zucker- und Säurelösung kann man diesen Geschmack hervorbringen, doch ist er nicht so deutlich wie die anderen Übergangsgeschmäcke, sondern man ist bei diesem Geschmack im unklaren, ob man sukzessiv sauer und süss schmeckt, oder ob man wirklich einen süss-sauren Geschmack hat.

Wenn wir $KHSO_4$ in hoher Konzentration schmecken, ist sein Geschmack ausser sauer-salzig auch etwas bitter, ebenso ist der Geschmack von KF an der Grenze der mittleren und hohen Konzentration sauer-salzig-bitter. Vergleichen wir die Geschmäcke von LiCl und LiBr bei mittlerer Konzentration, so merken wir deutlich, wie der Geschmack von LiCl rein süss-salzig ist, während der von LiBr zugleich eine etwas bittere Nuance hat, er ist süss-salzig-bitter. Im allgemeinen haben die Bromide aller Alkalikationen einen Stich ins Bittere, den man besonders gewahr wird, wenn man ihren Geschmack mit dem der entsprechenden Chloride vergleicht. Wir haben also noch Geschmacksqualitäten mit dreiseitiger Ähnlichkeit, nämlich Süss-salzig-bitter und Sauer-salzig-bitter.

53. Wenn wir versuchen, die Geschmacksempfindungen in ein System zu ordnen und vorläufig nur die von ihrer Qualität abhängigen Unterschiede berücksichtigen, können wir alle verschiedenen Geschmacksqualitäten durch eine Gerade darstellen. Der Nullpunkt repräsentiert hier den bittren Geschmack und an beiden Seiten von ihm finden sich die übrigen Qualitäten, indem diejenigen Qualitäten, welche im Systeme Potentialdifferenzen mit entgegengesetzten Vorzeichen bilden, an der rechten bzw. linken Seite des Nullpunktes liegen, Vgl. Fig. 14, in welcher bei den verschiedenen Geschmacksqualitäten auch eine Substanz angegeben ist, welche den betreffenden Geschmack hervorbringt.

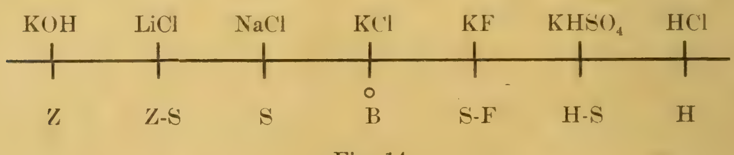


Fig. 14.

Diese Konstruktion stellt auch die Regeln der Geschmackskompensation dar: die Kompensation ist zwischen zwei Qualitäten, die sich an entgegengesetzten Seiten vom Nullpunkte befinden, möglich.

54. Jede Empfindung ist durch drei Elemente charakterisiert, und zwar sind diese bei den Geschmacksempfindungen 1. die Qualität, 2. die Intensität und 3. die Reinheit oder Sättigung des Geschmackes.

Wie ich hier nachzuweisen versucht habe, nimmt der bittere Geschmack in Bezug auf die anderen Geschmacksqualitäten eine Sonderstellung ein. Die Reizung, durch welche der bittere Geschmack ausgelöst wird, ist wahrscheinlich von einer anderen Art (Adsorptionsvorgang) als die Reizung, welche die anderen Qualitäten hervorruft (auch elektr. Potentialdifferenzen). Wenn aber eine Substanz eine Potentialdifferenz im Geschmackssystem verursacht, wird sie aber ausserdem auch darin adsorbiert, und auf Grund dessen sind die reinsten, nicht bitteren Geschmacksqualitäten im Grunde nicht ganz rein, sondern haben eine schwach bittere Nuance.

Die Sonderstellung des Bitteren kommt auch darin zum Ausdruck, dass alle Übergangsgeschmäcke des Süssen, Salzigen, Sauern und andererseits des Bitteren, in ihrer Qualität mehr durch die erste Komponente bestimmt sind, während für die von den ersteren untereinander gebildeten Übergangsgeschmäcke, die beiden Komponenten mitsprechen. So sind z. B. alle süss-bitteren Geschmäcke der Hauptsache nach süsse Qualitäten, bei denen das Süsse mehr oder weniger rein oder gesättigt ist. Die Übergangsgeschmäcke des Süss-salzigen dagegen lassen sich überhaupt nicht als verschiedene Reinheitsgrade der süssen Qualität und auch nicht als solche der salzigen charakterisieren. Hieraus erklärt es sich auch, dass bei dem süss-bitteren, salzig-bitteren und sauer-bitteren Geschmack, untereinander verglichen, vorzugsweise die durch die erstgenannte Qualität bestimmte Verschiedenheit erkannt wird, während bei dem süss-salzigen und sauer-salzigen das gemeinsame Salzige besser zur Wahrnehmung gelangt.

Wenn wir dies, beim Ordnen der verschiedenen Geschmacksqualitäten in ein System, berücksichtigen, können wir die Reihe der reinen, nicht-bitteren Geschmacksqualitäten durch eine Kurve und den bitteren Geschmack durch einen innerhalb dieser Kurve, in derselben Ebene, belegenen Punkt darstellen. Die Kurve würde von einer Sehne geschlossen, welche die den Süssen und Sauern Ge-

schmack vertretenden Punkte verbinden würde, denn der süss-saure Geschmack entsteht ja nur durch Mischung von süss und sauer schmeckenden Stoffen und muss also auf der Verbindungslinie der diese Geschmäcke vertretenden Punkte liegen. Die Radien, welche die Peripherie der Kurve mit dem Punkt »Bitter» verbinden, würden die Reinheitsgrade der verschiedenen Geschmacksqualitäten vertreten (Fig. 15).

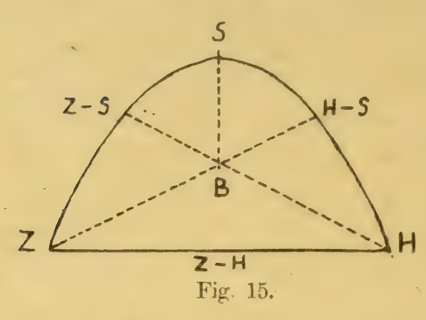


Fig. 15.

Das dritte Element, die Intensität des Geschmackes, konnte bei einer derartigen Konstruktion in der dritten Dimension ausgedrückt werden.

55. Wie nach der Farbentheorie von Young und Helmholz alle Farbenempfindungen aus dreien Grundfarben hergeleitet werden, können wir bei der theoretischen Deutung der Geschmacksempfindungen von drei Geschmacksqualitäten ausgeben.

Am natürlichsten nimmt man zu Grundgeschmäcke die drei typischsten Qualitäten, Süss, Salzig und Sauer. Diese drei Qualitäten sind in der Qualitätenreihe des Geschmacks ausgezeichnete Punkte, die nur eine Ähnlichkeitsbeziehung besitzen.

Wenn wir uns näher vorstellen wollen, wie wir uns den Bau des Geschmacksorgans oder seine Funktionen gemäss dieser Anschauungsweise zu denken haben, so ist es natürlich die Sache so aufzufassen, dass im Geschmacksorgan dreierlei Endorgane oder Reizempfänger vorhanden sind, wie nach der Theorie von Young-Helmholz im Auge. Unter diesen Endorganen erzeugt eine Reizung des ersten eine süsse, die des zweiten eine salzige und die des dritten eine saure Geschmacksempfindung. Werden sowohl der erste als der zweite gereizt, so erhalten wir eine süss-salzige Empfindung, werden hinwieder der zweite und dritte gereizt, so erhalten wir eine sauer-salzige Empfindung. Wenn der erste und dritte gereizt werden, erhalten wir eine süss-saure Empfindung, die doch weniger deutlich als die anderen Geschmacksempfindungen mit zweiseitiger Ähnlichkeit ist[1].

[1] Der eine Sonderstellung einnehmende bittere Geschmack kann selbstverständlich von einem besonderen Reizempfänger oder Endorgan hergeleitet werden. Es lässt sich indessen auch denken, dass er dadurch entsteht, dass die Endorgane der anderen Qualitäten, durch die Substanzen mit bitterem Geschmack gleich stark oder gleich wenig gereizt werden.

Wenden wir das Obige auf die Geschmackstafel an, so muss ein Dreieck, welches von den die Punkte für die Grundgeschmäcke verbindenden Geraden gebildet wird, alle überhaupt möglichen Geschmacksqualitäten einschliessen. Wir erhalten also folgendes Bild (Fig. 16).

Die von der Kurve ZSH begränzte Fläche, die alle von realen Substanzen ergebenen Geschmäcke enthält, muss folglich ganz in unser Dreieck fallen, welches sonach Z′S′H′ sein würde. Danach fänden wir also, dass die Substanzen, deren Geschmack am reinsten salzig ist, auch in sehr hohem Grade die Endorgane für Süss und Sauer (auch die von Bitter) reizen würden, d. h. der salzige Geschmack salziger Substanzen ist nicht gesättigt,

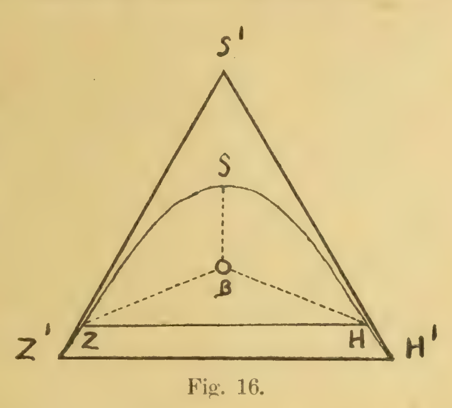


Fig. 16.

denn in der Figur liegt ja der das Salzige vertretende Punkt S sehr weit nach innen von dem den gesättigten salzigen Geschmack bezeichnenden Punkt S′. Diese Konstruktion entspricht den wirklichen Verhältnissen, wie wir gleich darzulegen versuchen werden. Auch das vollständig gesättigte Sauer und Süss liegen in der Figur ausserhalb von den Punkten, welche die durch saure und süsse Substanzen hervorgerufenen Empfindungen vertreten.

56. Nach unserer Anschauung über die Reizungen des Geschmacksorgans, entstanden der süsse, salzige und saure Geschmack aus in dem Geschmackssystem sich bildenden elektrischen Potentialen, während der bittere Geschmack erhalten wurde, wenn kein Potential vorhanden war und nur eine Adsorption stattfand. Da jeder Stoff, mag er nun ein elektrisches Potential erzeugen oder nicht, in jedem Fall in dem Geschmacksorgan adsorbiert wird, ist es demgemäss natürlich, dass von jederlei Substanzen hervorgerufene Geschmacksempfindungen auch Bitter enthalten, sie sind nicht vollständig gesättigt. Dies wären sie nur in dem Fall, dass wir die Adsorption und auch möglicherweise die Reizung, die in den die anderen Grundgeschmäcke vertretenden Endorganen vorhanden ist, elimieren könnten.

Wenn wir zuerst eine intensiv bittere, oder eine saure, oder salzig-saure Substanz schmecken und dann eine süsse in den Mund

nehmen, ist der Geschmack ausserordentlich süss, viel süsser als bei unmittelbarem Schmecken einer süssen Substanz. Ebenso können wir die saure und salzige Geschmacksempfindung viel deutlicher und reiner zustande bringen; sie sind bei diesem Verfahren viel gesättigter, als wenn sie direkt durch saure und salzige Substanzen erzeugt sind. Diese Erscheinung erklärt sich ganz natürlich daraus, dass das Geschmacksorgan gegen die vorhergegangenen Reize abgestumpft ist, sodass, wenn eine später geschmeckte Substanz andere, nicht die ermüdeten Endorgane reizt, die von ihr hervorgerufene Empfindung reiner hervortritt; die Geschmacksempfindung ist gesättigter. Diese Erscheinungen zeigen, dass es reinere Geschmacksempfindungen giebt als die, welche bei Einwirkung von Substanzen auf ein unermüdetes Geschmacksorgan entstehen, und dass wir die gesättigsten Geschmäcke erzielen, indem wir die Endorgane der anderen Grundgeschmäcke unseres Geschmacksorgans ermüden. Dieses Phänomen erinnert sehr an die Nachbilder farbiger Objekte im Gebiet der Gesichtsempfindungen. Wir haben also hier zunächst eine sukzessive Kontrasterscheinung.

Die Kontraste der Geschmacksempfindungen hat Kiesow[1] studiert, dessen ausgezeichnete Versuche in dieser Hinsicht sehr beleuchtend sind. Nach ihm können Süss und Salzig sowie Sauer und Salzig, sowohl bei sukzessiver als bei simultaner Reizung verschiedener Teile der Zunge kontrastieren. Sauer und Süss kontrastieren nur bei sukzessiver, nicht bei simultaner Reizung. Der bittere Geschmack kontrastiert im allgemeinen nicht mit den übrigen Qualitäten, in einigen Versuchen tritt jedoch ein Kontrast auf. Kiesows Ergebnisse stimmen gut zu unserer Anschauungsweise, dass die süsse, salzige und saure Geschmacksqualität durch spezielle Endorgane vermittelt werden. Da Bitter im allgemeinen nicht kontrastiere, weisen sie darauf hin, dass die bitteren Substanzen die Endorgane sowohl des Süssen und Salzigen als des Sauern gleich stark oder gleich wenig reizen, aber ihr bisweilen auftretendes Kontrastvermögen zeigt, dass wir durch die Adsorption einer bitteren Geschmackssubstanz die Reizempfänger des bitteren Geschmacks ermüden und dadurch die Sättigung der übrigen Geschmäcke erhöhen können.

Es gibt also gesättigtere Geschmacksempfindungen als die, welche bei der Einwirkung von Substanzen auf das unermüdete Ge-

[1] Kiesow, Wundts Philos. Studien, 10, S. 523; 1894.

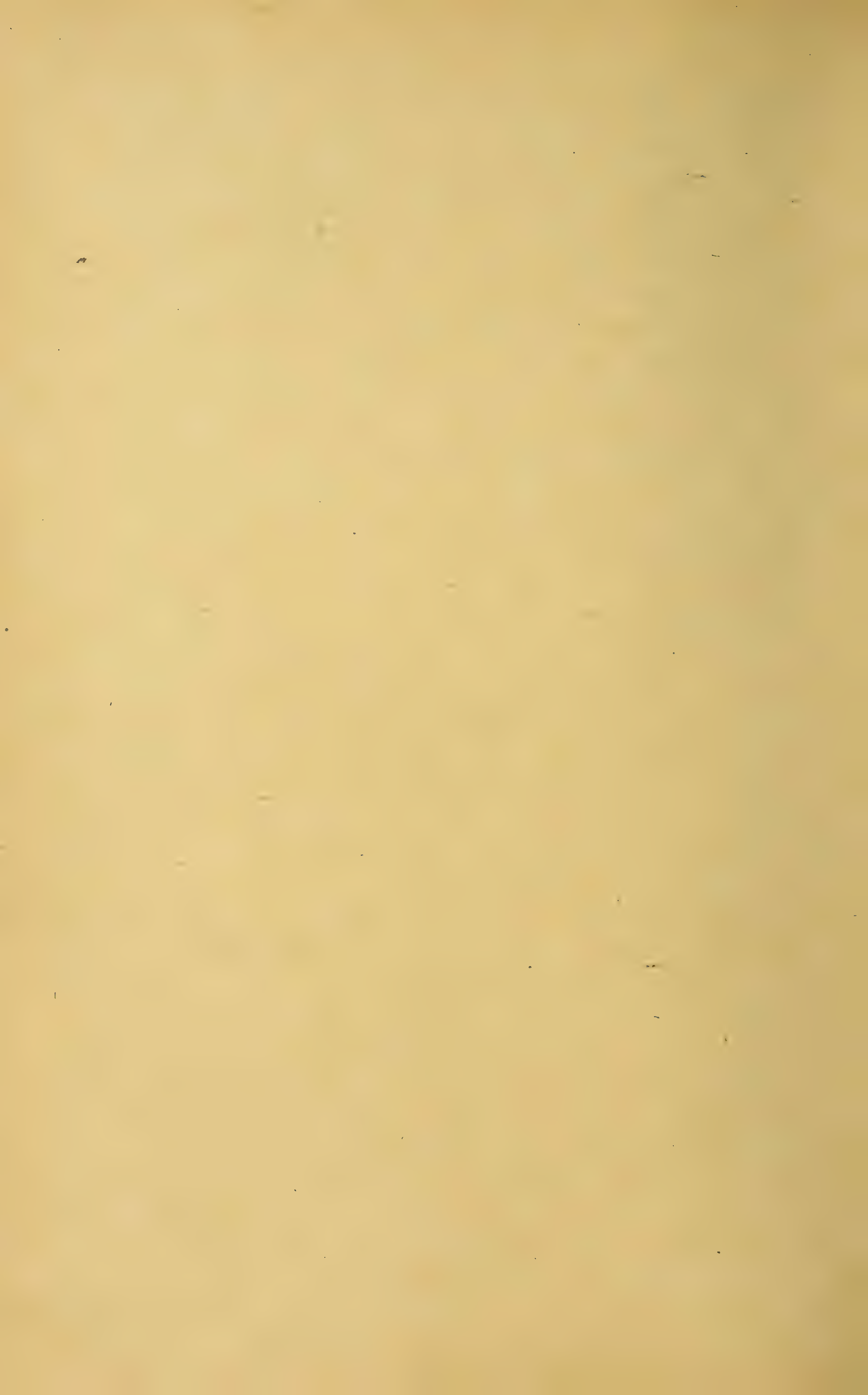
schmacksorgan entstehen, und unsere Konstruktion in Fig. 16 ist also demnach begründet. Auf diese Weise sind in der Tat die ausgezeichneten Punkte der Qualitätenreihe des Geschmacks auch in der Geschmackstafel ausgezeichnet.

57. Die Versuche Öhrwalls[1] mit lokaler Reizung der Papillen der Zungenspitze machen es sehr wahrscheinlich, dass jeder einzelne Grundgeschmack von besonderen Geschmackskörperchen vermittelt wird, sodass wir gewissermassen eine direkte experimentelle Stütze für die oben entwickelte Auffassung über den Bau und die Art der Reizung dieses Apparates erhalten.

Die in diesem Kapitel vorgelegte Anschauung ist in manchen Hinsichten sehr mangelhaft und unvollständig, aber ich glaube, dass man vor allem durch das Studium der Geschmacksmischungen und der im Gebiet der Geschmacksempfindungen auftretenden Kontrasterscheinungen sowie eventueller Anomalien des Geschmackssinns eine vollständigere Vorstellung von den in diesem Gebiet herrschenden Verhältnissen gewinnen könnte.

---

[1] Öhrwall, Skand. Arch. f. Physiol. 2, S. 1; 1891.



Das physiologische Prakticum an der medizinischen Fakultät in Helsingfors [1].

Von

Carl Tigerstedt.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

I.

Der praktische Übungskursus in der Physiologie an der medizinischen Fakultät in Helsingfors beanspruchte während des ersten Dezenniums dieses Jahrhunderts eine Zeit von etwa 7 bis 8 Wochen. Die Arbeiten fanden drei mal wöchentlich während je 2 bis 3 Stunden statt und umfassten also in allem etwa 50 bis 60 Stunden [2].

In jedem Kursus führten sämmtliche Teilnehmer gleichzeitig eine und dieselbe Arbeit aus.

Zum Kursus gehörten die wichtigsten optischen Untersuchungsmethoden (statische Refraktion, Astigmatismus, Akkomodation, Farbenblindheit, Ophthalmoskopie, usw.), ferner Blutkörperchenzählung, Bestimmung des Blutdruckes nach Riva-Rocci-Recklingshausen, Pulsregistrierung und die elektrische Untersuchung am Menschen, sowie schliesslich Versuche über den Ruhe- und den Aktionsstrom der Skeletmuskeln und des Herzens, graphische Registrierung verschiedener Vorgänge, usw.

Letzterer wurde reichlich die Hälfte des Kursus gewidmet.

---

[1] Der Redaktion am 8. Juli 1919 zugegangen.

[2] Da die medizinische Chemie bei unserer Fakultät von einem besonderen Lehrer vertreten ist, sind chemische Übungen vom physiologischen Praktikum ausgeschlossen.

Dabei fanden hauptsächlich Versuche innerhalb der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie statt, und zwar wurde dabei die Latenzdauer der Muskelzuckung, das Zuckungsgesetz von Pflüger, das polare Zuckungsgesetz, die Einwirkung von Induktionsströmen auf den Nerven, die mechanische Arbeit und die Ermüdung des ausgeschnittenen Muskels, die absolute Kraft des Muskels, Summation von Zuckungen usw. untersucht. Hierzu kamen noch Versuche über Registrierung mit Luftübertragung (Arterienpuls, Herzstoss, Atembewegungen usw.).

Ausserdem wurden am Kaninchen Registrierung des Blutdruckes sowohl mit dem Quecksilber-Manometer als mit elastischen Manometern, Stromeichung in der Aorta, Reizung der Grosshirnrinde, usw. den Kursusteilnehmern demonstriert.

Die Ursache, weshalb den Versuchen am Froschschenkelpräparat eine so hervorragende Stelle unter den praktischen Arbeiten gegeben wurde, lag, wie selbstverständlich, nicht in der besonders hervorragenden Bedeutung der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie bei der Ausbildung des künftigen Arztes sondern vielmehr darin, dass diese Versuche in hohem Grade geeignet sind, die Studierenden mit der Anwendung der graphischen Methode und der Elektrizitätsapparate vertraut zu machen. Dabei wurde indessen viel Zeit auf Arbeiten vergeudet, welche die Kenntnisse der Studierenden in den für sie speziell wichtigen Abschnitten der Wissenschaft weder erweiterten, noch vertieften.

Auch zeigte es sich, dass das Interesse der Teilnehmer, das im Anfang des Kursus ziemlich gross war, bei den späteren Versuchen am Froschschenkelpräparat in erheblichem Grade abnahm, und es kann ja nicht verneint werden, dass das Interesse der Lehrer keineswegs dadurch befördert wurde, dass sie drei bis vier mal jährlich ein und dasselbe Programm durchzugehen hatten.

Eine Veränderung beim praktischen Kursus erschien daher wünschenswert, und im Herbstsemester 1910 wurde nach einem von R. Tigerstedt[1] entworfenen Plan eine einheitliche, zusammenhängende Versuchsreihe über die Muskelarbeit des Menschen und ihre Einwirkung auf die grossen Funktionen des Körpers im Practicum ausgeführt. Obgleich das Resultat sehr glüchlich ausfiel, wurde im Laufe der nächstfolgenden Semester diese Anregung nicht weiter fortgeführt.

---

[1] R. Tigerstedt, Dies Archiv, S. 231; 1911.

Da ein paar Jahre später, im Frühlingssemester 1912, von der medizinischen Fakultät mir beauftragt wurde, das physiologische Prakticum zu handhaben, führte ich, mit Zustimmung des Professors der Physiologie, versuchsweise eine ganz bedeutende Veränderung im Programm der praktischen Übungen durch. Da sich diese Veränderung gut bewährte, ist die neue Anordnung während der vergangenen 7 Jahre bestehen geblieben, und halte ich es daher für angezeigt, über dieselbe einen kurzen Bericht hier mitzuteilen.

II.

Wie vorher umfasst der praktische Kursus die wichtigsten für den praktischen Arzt notwendigen physiologischen Untersuchungsmethoden sowie Übungen in der Anwendung der graphischen Registrierung; diese sind für sämmtliche Teilnehmer obligatorisch. Während aber die Registrierversuche früher eine Zeit von etwa 12 Lektionen beanspruchten, sind sie nunmehr auf etwa die Hälfte beschränkt und beabsichtigen allein, die Anfangsgründe in der Methodik der Registrierung den Teilnehmern beizubringen.

Nachdem diese für alle gemeinsamen Arbeiten absolviert sind [1], werden die Teilnehmer in Gruppen von zwei oder drei geteilt; jeder Gruppe wird ein Thema vorgelegt, welches unter Anwendung möglichst exakter wissenschaftlicher Methoden gelöst werden soll.

Diese Themata werden, so viel dies möglich ist, aus den verschiedensten Gebieten der Physiologie gewählt. Bei ihrer Ausgabe wird auf eine oder einige, den betreffenden Gegenstand behandelnden Originalabhandlungen hingewiesen. Bevor die experimentelle Arbeit beginnt, müssen die Gruppenteilnehmer diese Abhandlungen genau studiert haben.

Die Themata sind so gewählt, dass ein Resultat, bei ziemlich intensiver täglicher Arbeit, voraussichtlich innerhalb etwa zwei Wochen erhalten werden kann.

Nach Schluss dieser Versuchsreihen kommen sämmtliche Teilnehmer, etwa 25 an der Zahl, im Hörsaal des Instituts einige Mal zusammen. Dabei erstattet jede Gruppe durch einen Vertreter in

[1] Betreffend die nähere Anordnung des praktischen Unterrichts sei hier nur noch erwähnt, dass der Professor der Physiologie die obligatorischen optischen Versuche übernommen hat, während ich den übrigen Teil des Kursus geleitet habe.

einem kurzen Vortrag einen Bericht über ihre Untersuchung und die dabei gewonnenen Resultate. Nach jedem Vortrag werden die darin behandelten Fragen diskussionsweise besprochen.

Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass sämmtliche Teilnehmer schon im Verlauf der Arbeiten Gelegenheit haben, sich mit den Aufgaben der verschiedenen Gruppen vertraut zu machen.

III.

Es ist natürlich mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, das Programm für solche Arbeiten aufzustellen, insbesondere da diese unter Beobachtung einer möglichst exakten Methodik durchgeführt werden sollen. Diese Schwierigkeiten sind während der letzten Jahre in hohem Grade dadurch vermehrt worden, dass es fast unmöglich gewesen ist, neue Apparate und Instrumente dem Institut anzuschaffen.

Infolge dessen sind gewisse Arbeiten öfter als wünschenswert auf das Programm aufgenommen worden. Ein grösserer Übelstand dürfte dennoch nicht hier vorliegen, da die betreffenden Arbeiten sowohl an und für sich instruktiv gewesen sind, als auch mit Hinsicht auf die Fähigkeit der Studierenden, sie zu einem glücklichen Schluss zu bringen, sich als zweckmässig erwiesen haben.

Tatsächlich ist die Zahl der bei dem Prakticum ausgeführten, verschiedenen Arbeiten nicht unbedeutend gewesen: sie beläuft sich zurzeit auf etwa 150.

Natürlich haben sie in der Regel keine für die Wissenschaft neuen Resultate zeitigen können, wie sie ja auch grösstenteils im Nachprüfen früherer Untersuchungen, deren Zuverlässigkeit über jeden Zweifel erhaben war, bestanden haben. In einigen Fällen scheinen indessen die Ergebnisse zu verdienen, veröffentlicht zu werden; in anderen Fällen sind durch die Kursusversuche Anregungen gewonnen, welche die Teilnehmer veranlasst haben, nach Ende des Kursus die angefangene Arbeit im rein wissenschaftlichen Zweck fortzusetzen.

Da die Kursusarbeiten bezwecken, nicht allein den Studierenden eine gewisse technische Fertigkeit beizubringen, sondern auch und vor allem ihnen eine Anleitung zu geben, wie ein wissenschaftliches Material gewonnen wird und bearbeitet werden soll, hat sich die Beteiligung des Lehrers im allgemeinen auf Hilfe bei den ersten

Versuchen und Kontrolle hinsichtlich der Genauigkeit der übrigen beschränkt.

Gewisse Aufgaben sind aber in technischer Hinsicht so schwer gewesen, dass sie nur unter stetigem Beistand des Lehrers ausgeführt werden konnten.

Zuweilen, wie z. B. bei Eichung der durch die Aorta strömenden Blutmenge, bzw. bei Versuchen über den intrakardialen Druck oder über direkte Pulsregistrierung hat der Lehrer selber mit Assistenz der betreffenden Kursusteilnehmer die Operationen gemacht. Aber auch in diesen Fällen haben die Studierenden das Versuchsmaterial selbständig bearbeitet.

In allen Fällen hat, wie selbstverständlich, der Lehrer den Studierenden mit seinem Rat zur Verfügung gestanden.

Der schliessliche Bericht über die Untersuchung wurde durch Wandtafeln und Kurven illustriert, und wo dies wünschenswert erschien, hatten die Studierenden Gelegenheit, photographische Projektionsbilder zum Vortrage zu erhalten.

IV.

Es kann ja keine Rede davon sein, alle diejenigen Versuchsreihen, welche in dieser Weise durchgeführt sind, hier im einzelnen zu besprechen. Da aber andererseits ein schematisches Aufzählen derselben keine genügende Vorstellung von der physiologischen Ausbildung unserer Studenten geben konnte, habe ich versucht, einen Mittelweg einzuhalten, und werde daher einige von den Teilnehmern im Kursus durchgeführte Arbeiten im folgenden etwas näher besprechen.

Mit Rücksicht auf die tatsächlichen Verhältnisse und die instrumentelle Ausstattung des Institutes ist es natürlich, dass die Arbeiten mit der hier ausgeübten wissenschaftlichen Wirksamkeit in nahem Zusammenhang stehen sollen.

Daher bezieht sich auch eine grosse Zahl dieser Arbeiten auf die Physiologie des Kreislaufes und des Stoffwechsels, was indessen nicht ausschliesst, dass auch viele andere, ja man kann wohl sagen die meisten Gebiete der Physiologie unter denselben vertreten sind.

P a r a m a e c i u m. Als ein leicht zugängliches Objekt ist das Paramaecium für Untersuchungen über die Eigenschaften der Ele-

mentarorganismen bei verschiedenen Kursusversuchen benutzt gewesen.

Als Beispiel eines solchen Versuches sei folgende Reihe hier mitgeteilt. Sie bezieht sich auf die Einwirkung von Tinctura Strophanti und wurde in der Weise ausgeführt, dass das Gift in verschiedener Konzentration unter dem Rande des Deckgläschens den Paramäzien zugeführt wurde. Das Resultat war folgendes.

I. Lösung 1 : 5. Die Paramaecien werden vom Strome weggefegt; einige sterben sofort; nach einiger Zeit kehren einige Paramaecien um und sterben nachdem sie ohne Ziel umher geschwommen haben.

II. Lösung 1 : 10. Die Paramaecien werden vom Strome weggefegt, machen aber dagegen einen stärkeren Widerstand als bei I. Dann begeben sich die meisten wieder in die Lösung, woselbst sie sich anscheinend gut befinden. Einige sterben indessen innerhalb 5 bis 10 Minuten.

III. Lösung 1 : 15. Wie bei II; die positive Anziehung der Lösung ist hier aber grösser; keine Paramaecien sterben.

IV. Lösung 1 : 25. Die Paramaecien sammeln sich in der Lösung. Die kräftigsten, dicken stellen sich in Reihen am Rande des Deckgläschens, wo die Strophantuslösung am konzentriertesten ist.

V. Lösung 1 : 50. Nach etwa 5 Minuten schwimmen sämmtliche Paramaecien in die Strophantuslösung, wo die dicken Paramaecien schon vom Anfang an sich befanden; diese sammeln sich am Rande des Deckgläschens.

VI. Lösung 1 : 100. Die Paramaecien begeben sich sofort in die Strophantuslösung und befinden sich dort offenbar gut.

VII. Lösung 1 : 200. Keine sichtbare Wirkung.

Kreislauf. Da Vivisektion allein zur Übung nicht gestattet werden kann, sind die meisten Versuche innerhalb der Physiologie des Kreislaufes entweder am Menschen oder an überlebenden Organen und Organkomplexen ausgeführt worden.

Bei den Versuchen am Menschen fand die Registrierung in vielen Fällen mittelst der Herztonkapsel Franks statt. Dabei wurde die Form der Pulskurve in verschiedenen Gefässen sowie ihre Veränderungen bei verschiedenen Eingriffen (Kompression der Brachialis bei Registrierung des Radialispulses, Muskeltätigkeit, Aussetzen der Atmung, usw.), ferner die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle, die Form der Herzstosskurve, die kardiopneumatische Bewegung, die Stromgeschwindigkeit des Blutes (Plethysmographie) usw. untersucht.

Figg. 1 und 2 beziehen sich auf solche Versuche. Wie die übrigen, hier mitgeteilten Kurven stellen sie Reproduktionen von

Vorlesungsbildern dar, welche bei dem Bericht über die Versuchsresultate benutzt wurden. Sie sind bei 10-maliger Vergrösserung der Originalkurven unter Anwendung von Millimetermassstab und Luppenvergrösserung auf Millimeterpapier gezeichnet worden.

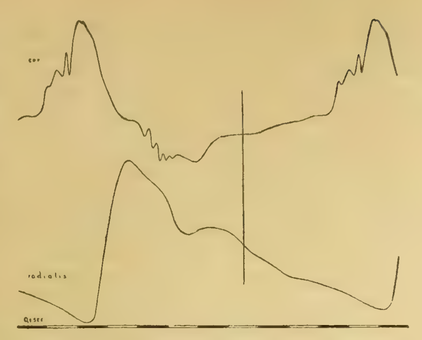


Fig. 1. Herzstoss und Radialispuls, mittelst der Herztonkapsel Franks gleichzeitig registriert.

Am Menschen sind ferner Versuche über die Variationen der Pulsfrequenz und des arteriellen Blutdruckes unter dem Einfluss verschiedener Variabeln, wie aktiver und passiver Bewegungen, Wärme und Kälte, verschiedener Tageszeiten usw. ausgeführt worden. Auch liegen Versuche über die Schwankungen des arteriellen Blutdruckes bei vermehrtem, extrathorakalem Druck vor.

In diesen Versuchen ist die Pulsfrequenz mittelst der Kapsel von Sandström registriert worden; die Bestimmung des Blutdruckes erfolgte mittelst des Manometers von Riva-Rocci-Recklinghausen.

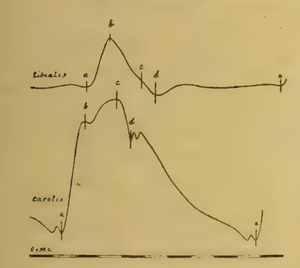


Fig. 2. Pulskurve der A. tibialis und der A. carotis mittelst der Herztonkapsel Franks gleichzeitig registriert. Die senkrechten Linien an der Carotiskurve geben den Anfang des systolischen Druckanstieges, das Maximum der beiden Plateauschwingungen sowie das Minimum der Inzisur an. An der Tibialiscurve bezeichnet die Linie *a* den Anfang des systolischen Druckanstieges, die Linien *b*, *c* und *d* stehen in Bezug auf *a* in demselben zeitlichen Verhältnis wie die entsprechenden Linien an der Carotiskurve.

Hierher gehören ferner Versuche über die Volumenveränderungen des Armes oder des Beines bei verschiedenen Eingriffen (Massage, Heissluft-, Warmwasser- oder Kältebehandlung, Muskelarbeit).

Mehrere Versuchsreihen sind am isolierten Kaninchen- oder Froschherzen gemacht. Im ersten Falle wurde die Durchspülung mit der Lösung von Locke ausgeführt. Auch beim Froschherzen kam Durchspülung in einigen Reihen zur Verwendung.

Die Versuchsreihen bezweckten, teils die Einwirkung gewisser Gifte (Kampher, Digitalis, Strophantus, Diuretin, Kaliumchlorid, Calciumchlorid usw.), bzw. elektrischer oder thermischer Reizung auf das schlagende oder stillstehende Herz aufzuklären, teils

die Fortpflanzung der Erregung durch das Herz zu untersuchen. Die Registrierung fand im allgemeinen mittelst des Hg-Manometers statt. Auch die Herzplethysmographie wurde hier angewendet.

Zahlreiche Versuchsreihen sind am Rückenmarkspräparat vom Kaninchen ausgeführt worden. Bei diesen habe ich nach vorgenommener Tracheotomie mittelst einer Zange den Hals des Versuchstieres abgeklemmt; das solcherart dargestellte Präparat ist dann den Studierenden zu weiterer Behandlung überlassen.

Diese haben Kanülen in die A. carotis und die V. jugularis eingeführt und unter Anwendung des Hg-Manometers oder des elastischen Manometers von Frank den Blutdruck und dessen Schwankungen registriert.

In dieser Weise ist die Einwirkung mehrerer ins Gefässsystem eingespritzter Gifte (Adrenalin, Pituitrin, Digitalis, Strophantus, Nitroglyzerin, Diuretin, Uzara usw.), der Einfluss der Vagus-, Splanchnicus und Rückenmarksreizung, des Aussendruckes und der Bäder auf den Blutdruck untersucht worden. Hierzu kommen noch Versuche über Transfusion von physiologischer Kochsalzlösung oder von defibriniertem Blut, sowie über die Veränderungen des Blutdruckes bei Erstickung.

Am genannten Präparat ist noch die vordere Brustwand entfernt worden, und dann die Herztätigkeit wie ihre Abhängigkeit von den oben genannten Eingriffen direkt beobachtet worden.

Fig. 3 und 4 stützen sich auf Versuche dieser Art.

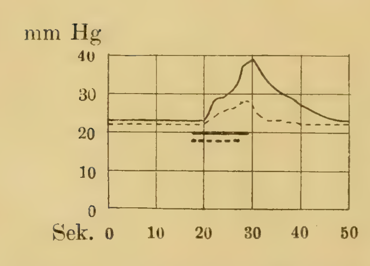


Fig. 3. Rückenmarkspräparat vom Kaninchen. Der Blutdruck in der Aorta bei Reizung des peripheren Stumpfes des an der Grenze zwischen dem Brust- und Lendenteil durchschnittenen Rückenmarkes. — — —, eine frühere, schwache, ———, eine spätere, starke Reizung.

Wie schon bemerkt, haben Vivisektionen zum Übungszweck nicht stattgefunden. In den Fällen, wo beim Praktikum solche vorgekommen sind, hat der Versuch ein Glied in einer von mir begonnenen wissenschaftlichen Untersuchung dargestellt, und die Operation wurde dabei von mir ausgeführt. Die Teilnehmer am Kursus waren dabei als Assistenten betätigt, und die Originalkurven wurden ihnen zu selbständiger Bearbeitung überlassen.

Solchen Versuchen gehören in erster Linie Eichungsversuche an der

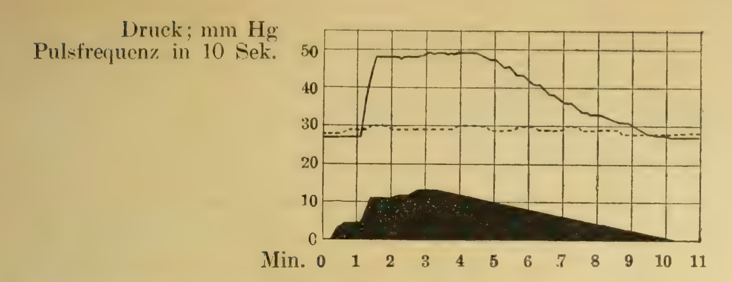


Fig. 4. Rückenmarkspräparat vom Kaninchen. Der Blutdruck in der Aorta (———) und die Pulsfrequenz (— — —) im Bad von 35° C. Die schwarze Figur am unteren Rande des Diagrammes stellt den Druck des Badewassers (mm Hg), auf der Oberfläche des Operationsbrettes bezogen, dar.

Aorta ascendens, bei denen die Einwirkung von Bädern, Kälte und Wärme, Reizung des Vagus oder des Herzmuskels sowie operativen Eingriffen in der Bauchhöhle näher verfolgt wurde.

Ferner Versuche, wo der intrakardiale Druck mittelst eines elastischen Manometers, bzw. Versuche, wo die Pulskurve an zwei Gefässen gleichzeitig aufgenommen wurde, usw.

Alle diese Versuche wurden am Kaninchen ausgeführt; die dabei gewonnenen Resultate sind zum Teil schon veröffentlicht worden.

Folgende Tabelle enthält einige Resultate der mittelst direkter Pulsregistrierung gemachten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Pulses beim Kaninchen (s. Seite 216).

Wenn auch die Teilnehmer am Kursus die betreffenden Versuche nicht selber ausgeführt haben, kann man dennoch nicht sagen, dass sie aus denselben im grossen und ganzen nur wenig Belehrung gefunden hätten. Denn teils ist die praktische Übung, welche durch das Assistieren bei schweren Versuchen gewonnen wird, keineswegs unbedeutend, teils haben gerade diese Arbeiten den Studierenden bei der Bearbeitung des ihnen überlassenen Versuchsmaterials eine sehr gute Gelegenheit gegeben, gewissen wichtigsten Fragen der Kreislaufsphysiologie näher zu treten.

Unter den zur Physiologie des Kreislaufes gehörigen Kursusarbeiten können endlich auch Untersuchungen über die Veränderungen der Zahl der Leukozyten während der verschiedenen Stunden des Tages und unter der Einwirkung verschiedener Umstände, wie körperlicher Arbeit, Mahlzeiten, usw. erwähnt werden.

Tab. I. *Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Pulses beim Kaninchen.*

	Zeitliches Intervall zwischen den gleichzeitig registrierten Pulskurven; Sek.	Differenz zwischen der Entfernung der betreffenden Arterien vom Herzen; mm	Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Pulses; met./Sek.	
Versuch I Carotis und Femoralis .	0.040	202	5.05	Kaninchen 1500 gr
» II » » » .	0.040	198	4.95	Kaninchen 1900 gr
» III » » » .	0.050	211	4.22	Kaninchen 2100 gr
	0.058	211	3.63	
	0.060	211	3.52	
» IV » » » .	0.042	188	4.48	Kaninchen 1650 gr
	0.058	188	3.24	
	0.051	188	3.68	
» V Femoralis und Mesenterica	0.015	88	5.69	Kaninchen 2800 gr

Stoffwechsel. Die meisten Versuche über den Stoffwechsel sind unter Anwendung des Respirationsapparates von Sondén und Tigerstedt ausgeführt worden.

Nachdem die Studierenden gelernt hatten, den Apparat zu benutzen, wurde in der Regel ein Kontroll-Versuch gemacht und erst dann mit der eigentlichen Untersuchung begonnen.

Hierbei wurde die Kohlensäureabgabe des Menschen unter verschiedenen Umständen, wie bei vorsätzlicher und relativer Körperruhe, beim schlaffen oder straffen Stehen [1]), beim Gehen und Laufen, bei stillem und lautem Lesen sowie bei verschiedener gewerblicher Arbeit (militärische Übungen, Metallarbeit, Holzarbeit, Schreiben, Maschinenrechnen, Vorlesung, Gesang, Spielen von allerlei Musikinstrumenten usw.) bestimmt.

Jeder Versuch dauerte eine bis zwei Stunden und länger; jede Gruppe machte etwa zehn Versuche.

[1]) Dahlström und Nordberg, Dies Archiv, 36, S. 256; 1917.

Andere Versuchsreihen bezogen sich auf die 24-stündige Kohlensäureabgabe bei Frauen; diese Reihen hatten die besondere Aufgabe aufzuklären, in welcher Weise eine lange dauernde Unterernährung, wie sie während der letzten Jahre in weiten Kreisen stattgefunden hat, auf die Grösse des Stoffwechsels einwirkt. Hinsichtlich der ziemlich grossen Anstrengung, welche ein 24-stündiger Versuch erfordert, wurde die Zahl der Versuche für jede Gruppe auf 4 bis 5 beschränkt.

Da indessen die betreffende Frage nur an der Hand eines nicht ganz geringen Versuchsmaterials erörtert werden kann, sind mehrere Gruppen der Kursusteilnehmer mit diesem Problem beschäftigt worden. Im Ganzen liegen etwa 20 solche Versuche vor; ihre Resultate sollen in der nächsten Zeit veröffentlicht werden.

Tab. II enthält einige Angaben über die Kohlenstoffabgabe bei vorsätzlicher Muskelruhe und bei von Amateuren geleisteter gewerblicher Arbeit.

Tab. II. *Die Kohlenstoffabgabe bei vorsätzlicher Muskelruhe und bei gewerblicher Arbeit.*

Nr	Körpergewicht; kg	C-Abgabe pro Stunde				
		Ruhe		Arbeit		
		Absolut; g	Pro kg; g	Absolut; g	Pro kg; g	
1	65.3[1] + 87.7	16.4	0.107	36.0	0.235	Holzpolieren (Mahagoni)
2	65.7[1] + 63.3	14.0	0.109	39.8	0.309	
3	87.5 + 63.5	15.2	0.101	40.9	0.271	
Mittel	144.3	15.2	0.106	38.9	0.272	
4	65.5[1] + 86.9	13.0	0.085	49.9	0.327	Polieren von Eisen
5	66.3[1] + 63.3	13.8	0.106	46.8	0.361	
6	88.6 + 63.2	17.1[2]	0.113	48.4	0.319	
Mittel	144.6	14.6	0.101	48.4	0.336	
7	66.0[1] + 89.0	14.3	0.092	71.6	0.462	Holzsägen
8	66.0[1] + 63.7	13.4	0.103	61.1	0.471	
9	89.9 + 63.7	14.8	0.096	71.1	0.463	
Mittel	146.1	14.2	0.097	67.9	0.465	

[1] Frau.

[2] Während der Ruheperiode lachten die Versuchspersonen.

Die Versuche wurden gleichzeitig an je zwei Studenten ausgeführt und dauerten je 2 Stunden. Während der ersten Stunde wurde die vorsätzliche Muskelruhe beobachtet, während der zweiten die betreffende gewerbliche Arbeit geleistet.

Bei vorsätzlicher Ruhe betrug die Kohlenstoffabgabe durchschnittlich 0.101 g pro Stunde und Körperkilo.

Die Zunahme durch gewerbliche Arbeit betrug:

beim Holzpolieren (Mahagoni) . . . . . . 157 Proz.,
» Eisenpolieren . . . . 233 » und
» Holzsägen . . . . 379 »

In nahem Zusammenhang mit diesen Versuchen stehen Versuche, wo die Kohlensäureabgabe und die Sauerstoffaufnahme bei kleinen Tieren untersucht wurde. Die Versuchstiere (Mäuse oder Frösche) wurden in einem Glasbehalter eingeschlossen und die Veränderungen in der Zusammensetzung der Luft nach Krogh untersucht.

Von direkt praktischer Bedeutung sind diejenigen Versuche gewesen, bei welchen die Nahrungszufuhr bei frei gewählter Kost ermittelt wurde. Die Teilnehmer an diesen Versuchen sollten nach der Enquête-Methode die Menge, die Zusammensetzung und den Nährwert der Kost, welche während einer oder zweier Wochen von einer Familie genossen wurde, feststellen und nach den zugänglichen Mittelwerten berechnen, sowie nach den geläufigen Reduktionszahlen die Kost auf die einzelnen Familienmitglieder verteilen.

Folgende Tabelle (Tab. III) enthält ein Beispiel einer solchen Untersuchung. Die betreffende Familie, die Familie eines praktizierenden Arztes in Helsingfors, bestand aus zwei erwachsenen Männern und drei erwachsenen Frauen. Während der Versuchsdauer (28. April—4. Maj 1919) wurde nichts ausserhalb des Hauses genossen; keine Gäste.

Im Allgemeinen und ganz besonders während der letzten Jahre, wo die Nahrungsschwierigkeiten immer grösser wurden, haben die Studierenden die Aufgabe, Kostmasse für bestimmte Zwecke zu entwerfen, mit viel Interesse umfasst. Bei der Ausgabe der Arbeit wurde angegeben entweder für welche Klasse der Gesellschaft die Kost beabsichtigt war, oder wie viel der für einen erwachsenen Mann berechnete Preis betragen dürfte.

Tab. III. *Die Kost einer Ärztefamilie in Helsingfors.*

	Preis pro kg; Penni	Preis pro 1000 Kal.; Penni	Genossene Menge; kg	Preis der genossenen Menge; Penni	Eiweiss; g	Fett; g	Kohlehydrate; g	Kalorien
Butter	2600	327	2.2	5630	15	1840	15	17237
Milch (liter)	150[1]	238	14.5[1]	2320	508	508	725	9773
Sahne »	1000[1]	393	1.2[1]	1200	49	285	47	3049
Käse	1665	717	0.3	500	108	19	18	698
Eier (Stück)	85[2]	1159	25.0[2]	2465	174	145	11	2117
Kalbfleisch	1600	995	2.0	3200	330	200	—	3214
Rindfleisch	1500	782	3.0	4500	600	354	—	5751
Schinken	2800	696	0.8	2240	168	272	—	3219
Hammelfleisch	1800	895	2.5	4500	375	375	—	5025
Strömling, frisch	700	759	1.5	1050	202	60	—	1389
Lachs, gesalzen	1000	571	0.3	300	60	30	—	525
Häring, »	350	217	0.5	175	60	60	—	804
Zucker	1000	219	0.7	700	—	—	686	2813
Marmelade	1800	746	0.6	1025	—	—	335	1374
Weizenmehl	300	81	0.5	150	77	3	365	1842
Weizenbrot	333	128	3.0	1000	267	12	1602	7770
Kaffeebrot	500	193	1.3	625	116	5	693	3365
Hefebrot	333	127	0.8	250	68	3	405	1965
Roggenbrot	320	130	4.0	1280	328	48	1956	9812
Reis	1050	245	0.4	300	25	2	270	1227
Hafergraupen	500	130	1.2	590	170	61	795	4528
Kartoffeln (liter)	80[1]	129	15.0[1]	1200	195	15	2040	9300
Erbsen	500	159	0.4	200	88	4	209	1258
Kohlrüben	300	478	0.5	175	18	2	67	367
Gemüse	900	2206	1.0	900	15	2	80	408
Animalische Nahrungsmittel	—	531	—	28080	2649	4148	816	52901
Vegetabilische Nahrungsmittel	—	182	—	8395	1366	158	9504	46030
Summa	—	369	—	36475	4015	4306	10320	98931
Pro Mann u. Tag[3]	—	—	—	1184	130	139	335	3212
Pro Frau u. Tag[3]	—	—	—	947	104	118	268	2570

[1] Liter.

[2] Stück.

[3] Berechnet unter der Annahme, dass die Nahrungszufuhr der Frau $^{8}/_{10}$ von der des Mannes beträgt.

Folgende Tabellen (IV und V) rühren von einem Entwurf her, welcher am Ende des Herbstsemesters 1918 gemacht wurde. Ausser diesen Tabellen bringt der Entwurf noch detaillierte Angaben über die Verteilung der Kost auf einzelne Tage und Mahlzeiten, sowie über die Zusammensetzung der Speisen usw.

In diesem Falle bestand die Aufgabe darin, das Kostmass für eine aus Mann, Frau und zwei Kindern von durchschnittlich 10 Jahre Alter bestehende Arbeiterfamilie zu entwerfen. Es wurde angenommen, dass dem Manne eine mittelschwere körperliche Arbeit oblag, sowie dass die Frau mit dem Haushalt beschäftigt war und keine Aussenarbeit hatte.

Das Kostmass sollte sich auf die Nahrungsmittel gründen, welche nach der Ransonierung in Helsingfors zwischen dem 18. September und dem 18. November 1918 auf Karten verteilt wurden. Zu dieser Grundkost kämen noch 7 l. Kartoffeln und $3^1/_2$ l. Kohlrüben pro Individuum und Woche, was derjenigen Menge dieser Waaren entsprach, welche laut dem Ransonierungsplan der einzelne berechtigt war, im Verlauf des Herbstes für seinen Winterbedarf vom Lande zu importieren. Wenn diese Lebensmittel dem Nahrungsbedarf der Familie nicht genügen sollten, wären dazu andere, im offenen Handel zugängliche Waaren hinzuzufügen. Dabei sollte auch der Preis der Lebensmittel berücksichtigt werden, so dass die Kost, die allerdings bescheidenen physiologischen Forderungen genügen sollte, dennoch möglichst billig sein würde. Nahrungsmittel, welche nur im Schleichhandel erhalten werden konnten, dürften nicht in Betracht kommen.

Die eine der folgenden Tabellen (Tab. IV) gibt die Zusammensetzung und den Preis der für den Hausvater berechneten Kost, die andere (Tab. V) den Nährwert und Preis der von den einzelnen Familienmitgliedern zu geniessenden Kost an.

Gegen diesen Entwurf wurden bei der Diskussion mit den Kursusteilnehmern mehrere Anmerkungen gemacht, unter anderem, dass eine Bruttozufuhr von nur etwas mehr als 3000 Kal. pro Tag gar zu gering ist für einen erwachsenen mittleren Arbeiter. Dazu wurde erwidert, dass in der jetzigen schweren Zeit ein mittlerer Arbeiter kaum darauf rechnen kann, seinen Nahrungsbedarf vollständig zu decken, und dass die Nahrungszufuhr bei vielen Menschen in der Regel unzweifelhaft noch geringer ist. Die Anmerkung betreffend den grossen Gehalt des Kostmasses an Weisskohl, Suppenkraut und gesalzenem Fisch wurde unter Hinweis darauf, dass im

Tab. IV. *Entwurf eines Kostmasses für einen mittleren Arbeiter während einer Woche; Helsingfors, November 1918.*

Nahrungsmittel	Gesamt-menge; g	Eiweiss; g	Fett; g	Kohle-hydrate; g	Kalorien	Preis; Penni	Preis pro kg; Penni	Preis pro 1000 Kalorien Penni
I. *Nach Karten verkaufte Nahrungsmittel:*								
Roggenmehl	1040	120	21	728	3669	312	300	84
Vollmilch	60	2	2	3	42	7	120	178
Butter	56	—	48	—	448	112	2000	252
Schmalz	13	—	12	—	115	23	1800	200
Käse (Fettkäse)	31	8	8	2	113	44	1400	386
Zucker	37	—	—	35	144	42	1150	286
Rindfleisch.	94	16	9	—	152	55	585	362
II. *Vom Lande importierte ransonierte Nahrungsmittel:*								
Kartoffeln	4550	91	7	956	4376	420	92	97
Kohlrüben	2100	25	4	168	831	315	150	380
III. *Nicht ransonierte Nahrungsmittel:*								
Weisskohl	4600	92	9	230	1406	575	125	409
Suppenkraut, getrocknet	600	64	8	341	1738	720	1200	414
Strömling, gesalzen . .	4200	462	294	—	4628	2100	500	454
Häring, »	1766	212	212	—	2840	1323	750	467
Strömling, frisch . . .	600	54	34	—	541	450	750	810
Pilze, gesalzen.	250	7	1	10	76	100	400	1316
Summa	19997	1153	671	2472	21120	6598	—	—
Pro Tag	2719	165	96	353	3017	943	—	312

Tab. V. *Nährwert und Preis der Kost in einer Arbeiterfamilie* (Mann, Frau und zwei Kinder im Alter von durchschnittlich 2 Jahren); *Helsingfors, November 1918.*

	Pro Woche		Pro Tag	
	Kalorien	Preis; Penni	Kalorien	Preis; Penni
Mann	21120	6598	3017	943
Frau	17150	4765	2450	681 [1]
Kind	12698	2704	1814	387 [1]
Kind	12698	2704	1814	387 [1]
Summe	63666	16771	9095	2398

offenen Handel keine anderen Lebensmittel zum entsprechenden verhältnismässig billigen Preise erhalten werden konnten, beantwortet. Im gut geordneten Schleichhandel war es dagegen möglich, Getreide zu gleichem oder selbst billigerem Preis pro 1000 Kalorien zu bekommen.

Zu den Stoffwechselversuchen gehören endlich auch Untersuchungen über die N-Abgabe im Harn während 2-stündigen Perioden in ihrer Abhängigkeit von der Eiweisszufuhr in der Kost.

Verdauung. Hunde mit Parotis-, bzw. Magenfistel (und Oesophagusfistel), welche zu anderen Zwecken operiert waren, wurden den Kursusteilnehmern überlassen. Diese benutzten die Tiere zu Untersuchungen über die unter der Einwirkung verschiedener Reize stattfindende Absonderung von Speichel und Magensaft. Angesichts der ziemlich verwickelten Technik bei der quantitativen

[1] Dass sich die Kost der Frau und der Kinder verhältnismässig billiger als die des Mannes herausgestellt hat, erklärt sich daraus, dass die ransonierten Nahrungsmittel, welche im Verhältnis zu ihrem Nährwert billiger als die nichtransonierten waren, in gleichgrossen Mengen unter allen Familienmitgliedern verteilt wurden (die tatsächlich existierenden Ausnahmen kamen bei dem hier berücksichtigten Falle nicht in Betracht).

Bestimmung der Zusammensetzung und des Enzymgehaltes der Verdauungsflüssigkeiten, wurde bei diesen Versuchen nur der quantitative Verlauf der Sekretion an und für sich festgestellt.

Zu den Versuchen über die Verdauung können auch solche über die Ausnützung verschiedener Nahrungsmittel im menschlichen Darme geführt werden. Ein derartiger Versuch ist in Tab. VI mitgeteilt.

Tab. VI. *Die Ausnützung von Erbsen im menschlichen Darme.*

	Eiweiss; g	Fett; g	Kohlehydrate; g	Kalorien
Kost: 600 g Erbsen, gargekocht. Kauen sorgfältig	139.8	6.3	283.5	1794
Kot	26.5	6.4	30.1	292
Prozentiger Verlust	18.2	102.7	10.6	16.8
Kost: 600 g Erbsen, schlechtgekocht. Kauen mangelhaft	139.8	6.3	283.5	1794
Kot	38.5	8.6	44.4	420
Prozentiger Verlust	27.4	138.0	15.6	23.9
Kost: 400 g Erbsen, gargekocht. Kauen sorgfältig	93.1	4.2	189.0	1495
Kot	21.4	2.8	21.4	202
Prozentiger Verlust	23.0	67.5	11.3	13.5
Kost: 400 g Erbsen, schlechtgekocht. Kauen mangelhaft	93.1	4.2	189.0	1495
Kot	28.3	6.23	25.4	278
Prozentiger Verlust	30.4	149.0	13.4	18.6

Dieser Versuch bezweckte die Frage nach der Ausnützung getrockneter Erbsen mit spezieller Rücksicht auf den Einfluss des mehr oder weniger vollständigen Kochens und Kauens aufzuklären.

Während der Versuchsdauer (24 Stunden) genoss die Versuchsperson nebst den Erbsen 50 g Butter. Die Erbsen waren entweder zu einem Brei (gargekocht) oder auch so, dass die Hülsen so wenig

wie möglich zerplatzten, gekocht. Im letzteren Falle wurde das Kochen zu einer Zeit unterbrochen, wo die Erbsen noch etwas hart waren, indessen nicht härter als dies in jeder Familie ab und zu vorkommt. Die gargekochten Erbsen wurden sorgfältig gekaut, die schlecht gekochten wurden möglichst schnell geschluckt (unvollständiges Kauen).

Die Abgrenzung des Kotes fand mit Heidelbeeren statt und gelang sehr gut. Die Berechnung der Ausnützung setzt voraus, dass die genossene Butter vollständig resorbiert wurde, und dass also der Aetherextrakt im Kot ausschliesslich auf die Erbsen zu beziehen war.

Atmung. Anlässlich eines an der hiesigen propädeutischen Klinik behandelten Falles von hysterischer Tachypnoe, veranlasste ich eine Gruppe der Kursusteilnehmer zu untersuchen, inwiefern man im Stande ist, bei der Atmung dem Diaphragma eine passive Rolle willkürlich zuzuteilen; in diesem Falle musste dann bei der passiven Hebung desselben während der Inspiration eine Drucksenkung in der Bauchhöhle entstehen. Der Druck in der Bauchhöhle wurde hierbei mittelst einer ins Rectum eingeführten elastischen Kapsel, die mit einer registrierenden Lufttrommel in Verbindung stand, aufgenommen.

Nach einigen eitlen Versuchen lernten die Versuchspersonen, das Diaphragma bei der Atmung auszuschalten; dabei zeigte sich auch während der Inspiration eine Drucksenkung und bei der Exspiration eine Druckzunahme in der Bauchhöhle.

Eine der solcherart gewonnenen Kurven ist von Herrn Kollegen Saltzman[1] in seiner Arbeit über die hysterische Tachypnoe veröffentlicht worden.

Unter den Versuchen zur Physiologie der Atmung sind ferner Untersuchungen über die Blutgase (mit dem Apparat von Haldane) und über die Erwärmung der Luft in den Nasenhöhlen zu erwähnen.

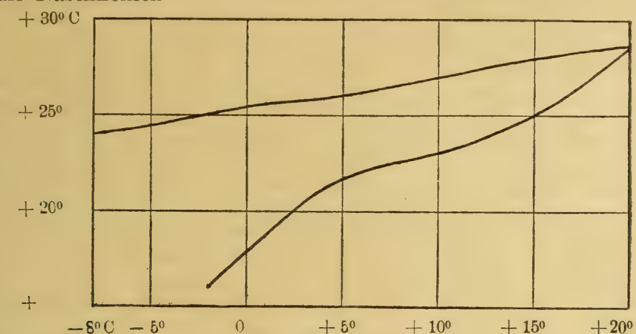
Bei den letzteren wurde nicht allein die Temperatur der in die Nasenhöhlen eintretenden Luft, sondern auch der Einfluss der Aus-

---

[1] Saltzman, Finska Läkaresällskapets Handlingar, 1919.

sentemperatur an und für sich berücksichtigt. Das Resultat eines solchen Versuches ist in Fig. 5 graphisch dargestellt.

Die Temperatur der Luft nach der Strömung durch die Nasenhöhlen



Die Temperatur der Luft vor der Strömung durch die Nasenhöhlen

Fig. 5. Die Erwärmung der durch die beiden Nasenhöhlen strömenden Luft. Die obere Kurve bezieht sich auf Versuche bei konstanter Aussentemperatur (20° C), die untere auf Versuche, wo die Temperatur der Aussenluft und der durch die Nasenhöhlen strömenden gleich war. Stromvolumen: 5 l in 90 Sek.

Körpertemperatur. Wegen der einfachen Methodik bei Untersuchungen über die Körpertemperatur und deren Variationen unter verschiedenen Umständen ist diese Gegenstand ziemlich zahlreiher Versuchsreihen gewesen.

Am Menschen sind die Tagesschwankungen der Körpertemperatur bestimmt und dabei das allgemeine Verhalten der Versuchsperson eingehend berücksichtigt worden. Ferner ist die Körpertemperatur bei vorsätzlicher Muskelruhe, bei verschiedenartiger Körperarbeit, beim Genuss von warmen und kalten Getränken und von warmen und kalten Speisen, bei verschiedener Aussentemperatur usw. verfolgt worden.

Fig. 6 stellt das Resultat einer derartigen Versuchsreihe dar.

Auch sind Versuche über die kleinste Arbeit, die notwendig ist, um das Herabsinken der Körpertemperatur unter 37° C zu verhindern, ausgeführt worden. Nachdem einleitende Versuche dargetan hatten, dass die Körpertemperatur bei vorsätzlicher Muskelruhe ziemlich schnell unterhalb dieses Niveaus herabsinkt, hat die Versuchsperson, welche sich in der Seitenlage befand, versucht, durch

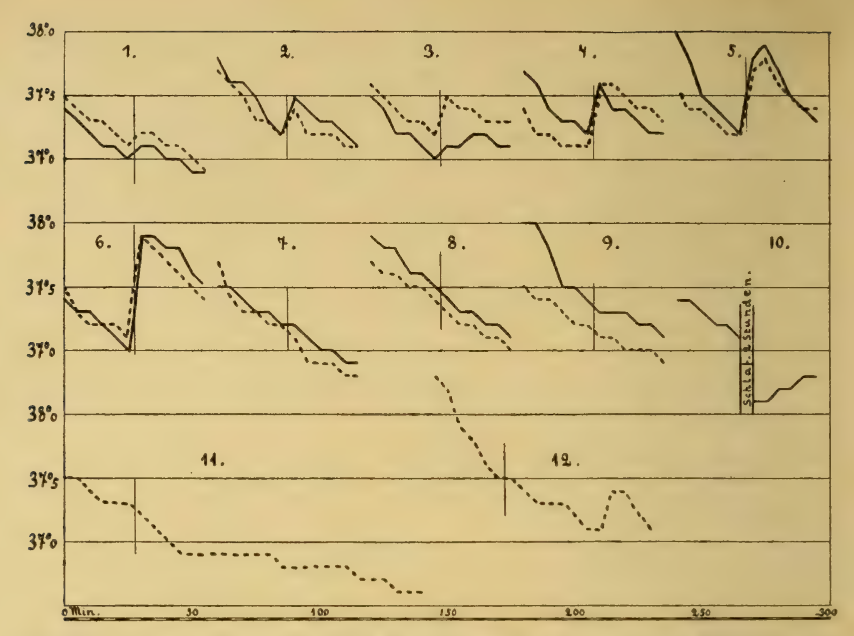


Fig. 6. Die Rektaltemperatur des Menschen. Die ausgezogenen und die unterbrochenen Linien beziehen sich auf verschiedene Versuchspersonen. Bei allen Versuchen hat die Versuchsperson die vorsätzliche Muskelruhe beobachtet; diese wurde nur durch den Eingriff, dessen Wirkung ermittelt werden sollte (die vertikale Linie), unterbrochen. 1. Aufstehen; 2. schlaffes Stehen während 5 Minuten; 3. straffes Stehen während 5 Minuten; 4. Treppenlaufen während 5 Minuten; 5. französischer Ringkampf während 5 Minuten; 6. dasselbe während 10 Minuten; 7. Trinken von 500 ccm Wasser von 6° C im Laufe von 1.5 Minuten; 8. Trinken von 500 ccm Wasser von 60° C im Laufe von 1.5 Minuten; 9. Trinken von 500 ccm Wasser von 36.5° C im Laufe von 1.5 Minuten; 10. Schlaf während 2 Stunden; 11. Trinken von 800 ccm Milch von 36.5° C im Laufe von 1.5 Minuten; 12. Genuss von 210 ccm 12 proz. Alkohol. Gegen Ende des letzten Versuches wurde die Versuchsperson ungeduldig und beobachtete die vorsätzliche Muskelruhe nicht mehr.

Heben des Armes von horizontaler in vertikale Lage diesen Temperaturabfall zu verhindern. Es ergab sich, dass dies beim unbelasteten Arm, selbst bei einer Frequenz von 20 Hebungen in der Minute, nicht erzielt werden konnte. Dagegen gelang es der Senkung vorzubeugen, wenn bei einer Frequenz der Bewegungen von 15 Hebungen in der Minute der Arm mit 4—5 kg belastet war. Die Versuchsperson war nur leicht angezogen. Die Temperatur des Zimmers 18° C.

In ein paar Fällen sind auch die Tagesvariationen der Körpertemperatur bei Tieren (Vögeln und Kaninchen) untersucht worden.

Einige der hierher gehörigen, an Vögeln gewonnenen Resultate sind von Hildén und Stenbäck[1] in Zusammenhang mit ihren eigenen Untersuchungen über dasselbe Thema veröffentlicht worden.

Die Ergebnisse eines am Kaninchen ausgeführten Versuches bei natürlicher und umgekehrter Lebensweise sind in Tab. VII eingetragen.

Tab. VII. *Die Körpertemperatur des Kaninchens bei gewöhnlicher und umgekehrter Lebensweise.*

Datum Mai 1917	9 vm.	12 mitt.	3 nm.	6 nm.	9 nm.	12 nachts.	3 vm.	6 vm.	Anmerkungen
8	38.16	38.66	39.02	39.10	38.85	38.35	38.15	38.18	Normale Lebensweise
9	38.05	38.70	38.70	38.15	38.90	38.40	38.80	38.50	Sonnenaufgang 3 Uhr 41 Min.
10	38.55	38.85	38.85	38.70	38.72	38.55	38.35	38.45	Sonnenuntergang 8 Uhr
11	38.30	38.55	38.75	38.80	38.80	38.60	38.50	38.30	13 Min.
Mittel	38.26	38.69	38.83	38.81	38.82	38.48	38.45	38.36	
12—14	—	—	—	—	—	—	—	—	Umgekehrte
15	38.90	38.50	38.30	38.83	38.80	39.05	39.00	38.80	Lebensweise
16	38.60	38.53	38.50	38.70	38.50	38.90	38.85	38.75	Das Zimmer war zwischen
17	38.48	38.85	38.45	38.50	38.70	38.90	38.75	38.60	9 Uhr nm. und
18	38.70	38.22	38.50	38.50	38.60	38.70	38.65	38.70	9 Uhr vm. beleuchtet.
Mittel	38.67	38.52	38.44	38.63	38.65	38.89	38.81	38.71	

Muskelphysiologie. Das Interesse für gymnastische Übungen wie für Sport und Athletik ist unter unseren Studenten im allgemeinen sehr rege; auf Grund dessen sind bei den Kursusarbeiten Aufgaben, die sich auf die Muskelleistungen des Menschen beziehen, ziemlich oft vorgelegt wurden.

So sind unter Anwendung der drei im Institute vorhandenen Ergographen (Mossos, Johanssons, C. Tigerstedts) zahlreiche hierher gehörige Versuche ausgeführt worden.

Ein bei derartigen Versuchen auftretender Übelstand liegt indessen darin, dass die Versuchsperson während der kurzen Zeit,

[1] Hildén und Stenbäck, Dies Archiv, 34, S. 382; 1916.

die auf diese Versuche verwendet werden kann, keine vollständige Trainierung gewinnt. Deshalb bestanden die Aufgaben anfänglich nur in Studien über die Einwirkung der Trainierung auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln ohne weitere Komplikationen.

Da derartige Versuche aber nicht immer weiter wiederholt werden konnten, riskierte ich, auch Versuche über den Einfluss anderer Variabeln auf das Arbeitsvermögen aufzunehmen.

Es ist ja selbstverständlich, dass der Umstand, dessen Einfluss untersucht werden soll, sehr mächtig sein muss, wenn irgend welches sicheres Resultat an Individuen, die wenig oder gar nicht für die betreffende Arbeit trainiert sind, erhalten werden soll. Und ich muss zugeben, dass die Resultate zuweilen ziemlich schwach gewesen sind, indem der Einfluss der immer weiter fortschreitenden Trainierung die Einwirkung der besonders untersuchten Variabeln grösstenteils verdeckt hat.

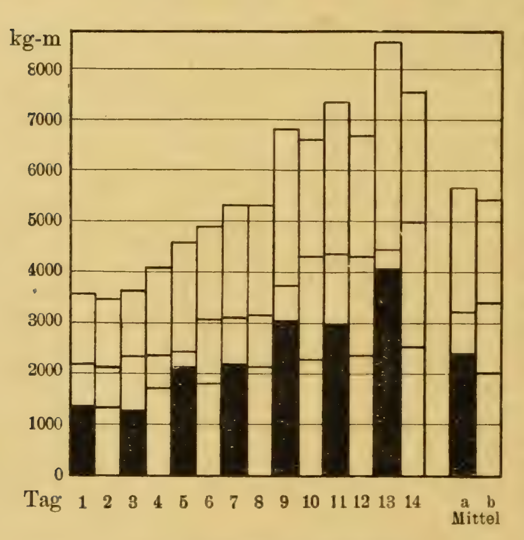


Fig. 7. Der Einfluss der Massage auf die Muskelarbeit. Die Ordinaten stellen die tägliche Arbeitsmenge dar. Die Entfernung von der Abszisse zum unteren horizontalen Strich bezeichnet die Arbeitsmenge während der 10 letzten Arbeitsperioden in jedem Versuch; die Entfernung zwischen der Abszisse und dem mittleren Strich stellt die Arbeit während der 10 ersten Arbeitsperioden dar. Die Gesammthöhe der Säulen bezieht sich auf die Gesammtarbeit während eines Tages. Während der Versuchstage 1, 3, 5, 7, 9, 11 und 13 wurde die Versuchsperson massiert. Die Säule *a* stellt den mittleren Wert für diese Tage, die Säule *b* den für die freien Tage dar.

Dass indessen unter Umständen sehr deutliche Resultate erhalten werden können, ist aus Fig. 7 ersichtlich. Diese bezieht sich auf die Einwirkung der Massage auf die Muskelarbeit.

Der Versuch wurde am Ergographen J o h a n s s o n s gemacht und dauerte 14 Tage. Jeden Tag wurden 20 Arbeitsperioden, jede bis zu Ermüdung ausgeführt. Die Belastung (20 kg) wurde jede 2. Sekunde gehoben. Zwischen den einzelnen Arbeitsperioden war eine Ruhepause von 3 Minuten eingeschoben. Zwischen der 10. und 11. Periode betrug die Ruhe-

pause indessen 10 Minuten. Jeden zweiten Tag (1., 3., . . . 13.) wurde die Versuchsperson während der 10 letzten Ruhepausen massiert. Das Resultat ist eine unverkennbare Zunahme im Vergleich mit der während der entsprechenden Perioden an den massagefreien Tagen geleisteten Arbeit.

Deutliche Resultate sind auch bei Untersuchungen über die Einwirkung der Heissluftbehandlung auf die Leistungsfähigkeit ermüdeter Muskeln [1], über den Einfluss des Alkohols auf die Muskelarbeit, über die Bedeutung der Länge der Ruhepause, über den Einfluss der Ermüdung einer Muskelgruppe auf das Arbeitsvermögen nicht-ermüdeter Muskeln, usw. erzielt worden.

Ein paar Mal ist die Frage nach dem Einfluss des täglichen Alkoholgenusses auf die Genauigkeit einer Präzisionsarbeit geprüft worden. Da jeder Versuch keine halbe Stunde täglich im Anspruch nahm, konnten die Versuche weit über der gewöhnlichen Zeitdauer ausgedehnt werden. Sie bestanden im Einfädeln von Nähnadeln; der Alkohol wurde periodenweise des Abends vor dem Bettgehen genossen. Die Versuche fanden am folgenden Morgen statt.

Eine dieser Versuchsreihen, welche betreffend den Einfluss des Alkohols an und für sich auf die genannte Präzisionsarbeit sehr deutliche Resultate ergab, ist vor einiger Zeit veröffentlicht worden [2].

Eine zweite Versuchsreihe bezweckte, die Bedeutung der Konzentration des genossenen Alkohols aufzuklären (s. Fig. 8).

Nach einer Trainierungsperiode von 14 Tagen, während welcher kein Alkohol genossen wurde, fing die erste Alkoholperiode an. Dieselbe umfasste 17 Tage und während dieser Zeit genoss die Versuchsperson jeden Abend etwa 3 Stunden nach dem Abendbrot 25 g, mit Wasser zu einer 25-prozentigen Lösung verdünnten Alkohol. Dann folgte 8 alkoholfreie Tage, nach welchen eine zweite Alkoholperiode begann, welche wie die erste 17 Tage umfasste. Die hierbei genossene absolute Alkoholmenge war die gleiche wie bei der ersten Alkoholperiode; der Alkohol war aber jetzt zu einer 3.3 prozentigen Lösung verdünnt.

---

[1] Diese Arbeit wurde später fortgesetzt und wird in diesem Archiv erscheinen; Aschan und Wahlberg, Dies Archiv, 38, S. 239; 1919.

[2]) Tötterman, Finska Läkaresällskapets Handlingar, 1917.

Nach einer 7-tägigen alkoholfreien Zwischenzeit folgte endlich die letzte Alkoholperiode, bei welcher der Alkohol wieder in 25-prozentiger Konzentration genossen wurde.

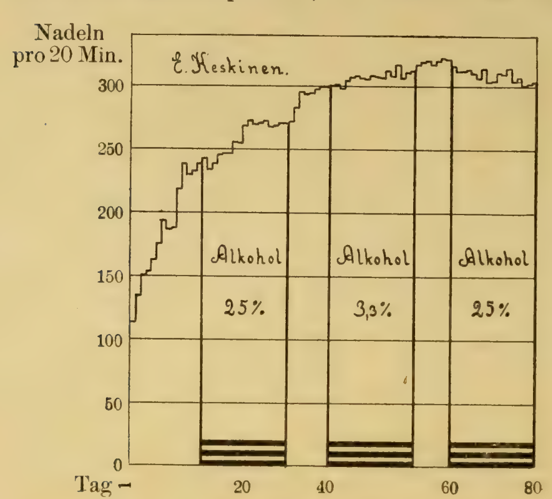


Fig. 8. Der Einfluss des Alkohols auf das Vermögen, eine Präzisionsarbeit (Einfädeln von Nähnadeln) zu leisten. Die Ordinaten geben die Zahl der eingefädelten Nadeln an.

Die Zahl der Nadeln, welche während der Versuchsdauer (20 Minuten) eingefädelt wurden, betrug am 1. Tage 114 und nahm während der ersten, alkoholfreien Periode allmählich auf 238 (14. Tage) zu. Während der ersten Alkoholperiode zeigt die Arbeitsprästation anfangs eine bemerkenswerte Steigerung auf ein Maximum von 273 (24. Tag), danach bleibt sie aber konstant bis zum Ende der Periode. Dies rührt aber nicht davon her, dass nunmehr eine vollständige Trainierung erreicht worden wäre; vielmehr muss die Ursache der Unterbrechung des Anstieges in der Einwirkung des Alkohols gesucht werden, wie aus der beträchtlichen Steigerung während der danach folgenden alkoholfreien Periode (auf 300, Tag 38 und 39) hervorgeht.

Während der Periode mit stark verdünntem Alkohol nimmt die Arbeitsmenge fortfahrend etwas zu. Dass die Zunahme nicht grösser ist, dürfte vor allem davon abhängig sein, dass die Versuchsperson etwa das Maximum ihrer Leistungsfähigkeit erreicht hatte, denn bei der letzten, alkoholfreien Periode kommt nur eine unbedeutende Steigerung zum Vorschein.

Während der letzten Alkoholperiode mit 25-prozentigem Alkohol nimmt die Leistung entschieden ab — von 322 während der letzten alkoholfreien Tage auf 302 während der letzten Tage der Alkoholperiode.

Aus diesem Versuche dürfte also folgen, dass während der in stärker konzentrierter Form genossene Alkohol einen unzweideutigen Hemmung auf die Fähigkeit der Versuchsperson, die erwähnte Prä-

zisionsarbeit zu leisten, ausübt, der Einfluss des stark verdünnten Alkohol verhältnismässig gering ist, und selbst wenn auch in diesem Falle eine gewisse Hemmung erscheint, ist diese dennoch wesentlich kleiner als diejenige, welche von der gleichen Menge Alkohol in mehr konzentrierter Form hervorgerufen wird.

Ferner ist die Schnelligkeit bei gewissen willkürlichen Muskelbewegungen untersucht worden.

Der zu diesem Zwecke benutzte Apparat besteht aus einem um eine horizontale, in Kugellager laufende Achse drehbaren und durch ein Gegengewicht equilibrierten Hebel von 50 cm Länge. An diesem befindet sich ein Griff, welcher in verschiedener Entfernung von der Achse (2 bis 50 cm) verstellt werden kann. Die Zahl der Umdrehungen wird unter Vermittlung eines elektrischen Kontaktes graphisch registriert.

Je nach der Lage des Apparates in Bezug auf die Versuchsperson, kann derselbe bei verschiedenen Muskelgruppen verwendet werden.

Mit diesem Apparate ist in verschiedenen Versuchsreihen der Einfluss des Hebelradius, der Trainierung und des Alkoholgenusses auf die Schnelligkeit der Bewegung und die Zahl der Umdrehungen in der Zeiteinheit untersucht worden.

Weil das Interesse für militarische Übungen wegen der jetzigen Verhältnisse bei uns sehr rege ist, habe ich im letzten Semester eine Gruppe der Kursusteilnehmer eine Reihe Untersuchungen über die Dauer des Zielens, d. h. die Zeit zwischen dem Anfang des Zielens und dem Augenblick, wo der Schuss abgeht, sowie über das Zittern des Gewehrs während stattfindenden Zielens ausführen lassen.

Die Registrierung fand mittels Hebel am berussten Zylinder Statt.

Als Versuchspersonen dienten teils Offiziere a. D. der finnlänndischen Armée, welche ihre militarische Ausbildung am 27. preussischen Jägerbataillon erhalten hatten, teils Mitglieder der Helsingforser Schutzwehr, welche am Schiessen mit Militärgewehr geübt waren. Ein detaillierter Bericht über die dabei gewonnenen Resultate würde zu weit führen. Ich will nur bemerken, dass sich die zur ersten Kategorie gehörigen Personen sowohl in Bezug auf die Dauer des Zielens als hinsichtlich des festen Haltens des Gewehrs

denen der zweiten Gruppe gehörigen in hohem Grade überlegen erwiesen.

Am Nervmuskelpräparat vom Frosch liegen mehrere Versuchsreihen vor.

So ist die Latenzdauer des Muskels in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Variabeln ermittelt worden. In der Tab. VIII sind die Resultate eines solchen Versuches, wo die Temperatur zwischen 6 und 28° C. variierte, zusammengestellt.

Tab. VIII. *Die Latenzdauer der Muskelzuckung.*

Nr	Temperatur; ° C	Latenzdauer; Sek.	Nr	Temperatur; ° C	Latenzdauer; Sek.
1	18	0.0052	11	8	0.0139
2	18	0.0050	12	8	0.0144
3	11	0.0110	13	7	0,0154
4	11	0.0110	14	6	0.0156
5	9	0.0134	15	20	0.0051
6	9	0.0133	16	20	0.0055
7	9	0.0130	17	28	0.0046
8	9	0.0130	18	28	0.0042
9	9	0.0130	19	28	0.0043
10	8	0.0137			

Andere Versuchsreihen bezweckten, das Arbeitsvermögen des Froschmuskels bei verschiedener Belastung und Zuckungsfrequenz sowie den Einfluss des Adrenalins auf dasselbe aufzuklären.

Da die von sämmtlichen Kursusteilnehmern ausgeführten Versuche über die Reizung des Nerven mit einem starkem konstanten Strom zuweilen Resultate ergaben, welche dem Zuckungsgesetz Pflügers gerade entgegengesetzt waren, wurden die Bedingungen dieser Umkehr näher untersucht.

Es war ja möglich, dass die Ursache der abweichenden Resultate von Verunreinigungen der unpolarisierbaren Elektroden herrührten. Daher wurde die Einwirkung der verschiedenen Verunreinigungen, welche in dem dabei benutzten Porzellanton und Kochsalz möglicherweise vorhanden waren, geprüft. Das Ergebnis war

vollständig negativ. Dagegen zeigte es sich, dass die Versuche, die am Anfang der Reihe ziemlich oft ein dem Pflügerschen Gesetz widerstreitendes Resultat ergaben, schliesslich, wenn die Studierenden eine grössere Fertigkeit bei der Darstellung des Präparates gewonnen hatten, ohne Ausnahme diesem Gesetz folgten. Die Ursache des früheren Misslingens muss daher wesentlich auf eine Beschädigung des Nerven bei der Präparation bezogen werden.

Die Ermüdungserscheinungen bei den Nerven sind teils nach dem Vorgange Bernsteins, teils am Saitengalvanometer untersucht worden.

Im ersten Falle wurde die Fortpflanzung der Erregung zum Muskel durch einen konstanten Strom verhindert. Bei der Unterbrechung dieses Stromes trat Muskeltetanus auf, in einem Falle sogar wenn der Nerv mit tetanisierenden Induktionsströmen während 9 $^1/_2$ Stunden ununterbrochen gereizt worden war.

Unter Anwendung des Saitengalvanometers sind die Aktionsströme des Nerven bei Ermüdung und Erholung sowie die positive Nachschwankung und deren Verhalten bis verschiedener Frequenz und Dauer der Reizung und bei verschiedener Temperatur untersucht worden.

Sinnesphysiologie. Unter den Aufgaben, welche den Kursusteilnehmern vorgelegt wurden, kamen immer auch solche innerhalb der Sinnesphysiologie vor.

So sind die Wärme-, Kälte-, Druck- und Schmerzpunkte topographisch untersucht worden, wobei der Schwellenwert des Reizes speziell berücksichtigt wurde [1].

Andere Reihen beziehen sich auf das Lokalisationsvermögen.

Die Genauigkeit des Muskelsinnes ist mittelst der Methode von Blix geprüft worden, d. h. die Versuchsperson hat bei geschlossenen Augen mit einem Bleistift einen gegebenen Punkt zu treffen: die Entfernung zwischen dem ursprünglichen Punkt und dem tatsächlich getroffenen stellt den Ausdruck der Feinheit des Muskelsinnes dar.

[1] Litmanen und Salenius, Dies Archiv, 36, S. 297; 1917.

Eine andere ähnliche Aufgabe bestand in der Untersuchung, wie genau man es vermag, mit der einen Hand eine Bewegung auszuführen, welche gleichgross ist wie die von der anderen Hand gleichzeitig gemachte. Hierbei wurde besonders der Einfluss der Ausgangslage und Richtung der Bewegung berücksichtigt.

Auch ist die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes bei den Bewegungsempfindungen Gegenstand der Versuche gewesen.

Untersuchungen über die Geschmacksempfindungen haben sich auf die Möglichkeit diese in Unterabteilungen zu gliedern, sowie auf die Empfindlichkeit der einzelnen Papillen an der Zungenspitze für verschiedene Geschmacksqualitäten bezogen.

Die Ergebnisse einer solchen Versuchsreihe sind in Tab. IX eingetragen.

Tab. IX. *Von 55 untersuchten Papillen reagierten:*

3 nur auf Süss.
2 » » Salz.
6 » » Süss und Salz.
2 » » Süss und Sauer.
3 » » Süss und Bitter.
1 » » Salz und Sauer.
3 » » Salz und Bitter.
1 » » Süss, Salz und Sauer.
20 » » Süss, Salz und Bitter.
4 » » Süss, Sauer und Bitter.
10 für Süss, Salz, Sauer und Bitter.

Als Reizmittel wurde Lösungen von

Rohrzucker	(40 Proz.)
Kochsalz	(20 Proz.)
Weinsäure	(2 Proz.)
Chininsulfat	(2 Proz.)

benutzt.

Innerhalb der Physiologie des Geruchsinns ist der Schwellenwert für den Geruch untersucht worden.

Ziemlich viele Versuchsreihen beziehen sich auf die Physiologie der Gesichtsempfindungen.

Hierher gehören Versuche über Farbenmischung. In einer solchen Reihe hatten die Kursusteilnehmer einige farbige Papiere erhalten; unter Anwendung des Farbenkreisels sollten sie diese Papiere an der Hand der Grundfarben nach Young-Helmholtz bzw. nach Hering analysieren.

Ferner wurde das Flimmern untersucht. Es galt dabei festzustellen, eine wie grosse Rotationsgeschwindigkeit erforderlich ist, um bei verschiedenen grauen Nüanzen das Flimmern zum Aufhören zu bringen.

Eine weitere Reihe wurde über das Augenmass ausgeführt. An einer schwarzen Tafel wurde ein schmaler horizontaler, weisser Papierstreifen von 30 cm Länge befestigt. Ein zweiter, gleichbreiter Streifen beginnt 5 cm rechts vom ersteren und kann in verschiedenen Winkeln zur Horizontalen gestellt werden. Bei jeder Winkelstellung hat die Versuchsperson, die sich in 4 m Entfernung von der Tafel befindet, mit Hilfe des Versuchsleiters am beweglichen Streifen ein Stück zu bezeichnen, welches der Grösse des horizontalen Papierstreifens entspricht. Für jede Winkelstellung wurden 20 Bestimmungen gemacht.

Über die Bewegungen der Augenlider sind zwei Reihen ausgeführt worden.

Bei der einen wurde die Frequenz des Blinzelns unter verschiedenen Umständen untersucht. Hierbei wurde dieselbe in einigen Versuchen mittelst eines in Verbindung mit einem Signalmagnet stehenden elektrischen Kontaktes registriert. Die Reihe wurde nach Ende des Kursus weiter fortgesetzt und liegt im Druck vor [1].

In der anderen Reihe wurde die Reflexzeit beim Blinzeln bestimmt. Die Blinzelbewegung wurde photographisch aufgenommen, und das Blinzeln dadurch ausgelöst, dass ein Hebel unmittelbar vor dem Auge der Versuchsperson herabfiel.

Von einem gewissen phonetischen und akustischen Interesse ist eine Versuchsreihe über die Genauigkeit beim Pfeifen. Der ge-

---

[1] Hahti und Wuorinen, Dies Archiv, 38, S. 62; 1918.

pfiffene Ton wurde mittelst einer elastischen Kapsel photographisch aufgenommen.

Die Versuche bezweckten teils den Umfang und Lage des Pfeifens zu untersuchen, teils zu prüfen, in welchem Grade die Versuchspersonen vermochten, einen bestimmten Stimmgabelton richtig anzugeben. Diese Fähigkeit war nur gering: selbst sehr geübte Chorsänger pfiffen gar nicht rein, und es kam sogar vor, dass sie glaubten, den Stimmgabelton ganz richtig getroffen zu haben, während sie in der Tat einen Ton gepfiffen hatten, der mehr oder weniger nahe mit der Oktave der Stimmgabel übereinstimmte.

Zentrales Nervensystem. Aus leicht ersichtlichen Gründen ist die Zahl der Arbeiten innerhalb der Physiologie des zentralen Nervensystems nur gering gewesen.

Wie schon erwähnt, ist die Reflexzeit beim Blinzeln bestimmt worden; eine andere Untersuchung der gleichen Art ist die über den Patellarreflex, mit besonderer Berücksichtigung der Reflexzeit. Hierbei fand die Registrierung photographisch statt.

Über die Reaktionszeiten liegen mehrere Versuchsreihen vor. Hierbei ist nicht allein die Reaktionszeit an und für sich und ihre Abhängigkeit von der Art des Reizes, sondern auch die Einwirkung verschiedener Variabeln, wie der Ermüdung, des Alkoholgenusses usw. berücksichtigt worden.

Die Ergebnisse einer solchen Reihe sind in der Tab. X zusammengestellt. Die Versuche stellen einfache Reaktionsversuche bei gemischter optisch-akustischer Reizung dar (vor der Versuchsperson war ein elektrisches Signal aufgestellt). Sie wurden während 9 aufeinander folgender Wochentage morgen und abend ausgeführt und bezweckten zunächst zu prüfen, in welchem Umfange geistige Arbeit (hier hauptsächlich anatomische Studien) eine Einwirkung auf die Reaktionszeit ausübt.

Bei jedem Versuch wurden fünf Registriertrommeln angewendet und an jeder 35—40 Reaktionen aufgenommen. Ich gebe die Resultate als Mittelwerte der bei jeder einzelnen Trommel verzeichneten Reaktionszeiten an.

Tab. X. *Reaktionszeiten.*

Tag	Tageszeit	Reaktionszeit in 0.001 Sek.					
		Trommel I	Trommel II	Trommel III	Trommel IV	Trommel V	Trommel VI
19. II	Morgen . .	169	195	181	187	184	183
	Abend . .	**199**	**193**	**209**	**210**	**209**	**204**
20. II	Morgen .	169	162	175	165	181	170
	Abend . .	**189**	**187**	**194**	**189**	**201**	**192**
21. II	Morgen .	199	171	164	180	177	178
	Abend . .	**200**	**195**	**170**	**190**	**186**	**190**
22. II	Morgen .	177	183	189	163	170	177
	Abend . .	**182**	**191**	**173**	**185**	**170**	**180**
24. II	Morgen .	184	171	169	167	165	171
	Abend . .	**175**	**239**	**190**	**218**	**199**	**204**
25. II	Morgen .	173	173	177	164	165	171
	Abend . .	**221**	**197**	**195**	**199**	**216**	**206**
26. II	Morgen .	176	180	167	173	173	174
	Abend . .	**207**	**190**	**212**	**213**	**206**	**206**
27. II	Morgen .	173	168	165	174	177	172
	Abend . .	**199**	**201**	**206**	**216**	**203**	**205**
28. II	Morgen .	163	168	159	167	158	163
	Abend . .	**194**	**203**	**200**	**213**	**193**	**201**
Mittel	Morgen .	176	175	172	171	172	173
	Abend . .	**196**	**200**	**194**	**204**	**198**	**199**

Schliesslich sind ein paar Reihen über den »Taktsinn» durchgeführt worden: Die Versuchsperson hatte einen elektrischen Taster im selben Rhytmus wie ein Metronom zu schliessen. Nach einer gewissen Zeit wurde das Metronom abgestellt, die Versuchsperson hatte aber fortfahrend den Taster im gegebenen Rhytmus zu bewegen. In dieser Weise wurde der Taktsinn in seiner Abhängigkeit von verschiedenem Rhytmus, von der Ermüdung und vom Alkoholgenuss untersucht.

Zum Schluss möchte ich noch bemerken, dass der aus schon oben angegebenen Gründen bedingten Einförmigkeit bei der Wahl der Aufgaben hoffentlich bald abgeholfen sein wird, indem mit der Möglichkeit die dem Institute zur Verfügung stehenden Apparate zu vermehren auch die Wahl der Kursus-Aufgaben freier und ausgiebiger wird, als sie bis jetzt hat sein können.

Zur Kenntnis der Einwirkung der Heissluftbehandlung auf das Leistungsvermögen der Skeletmuskeln.

Von

Per-Erik Aschan und Johannes Wahlberg[1].

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

Die bedeutenden Veränderungen, welche durch die örtliche Heissluftbehandlung bei der Blutzufuhr zu den betreffenden Körperteilen hervorgerufen werden, wie auch die sonstigen Einwirkungen der überhitzten Luft auf die Organe und Gewebe, lassen es von vornherein nicht ganz unwahrscheinlich, dass auch das Leistungsvermögen der durch vorhergehende Arbeit ermüdeten Muskeln unter dem Einfluss der Heissluftbehandlung in günstiger Richtung verändert werden sollte.

Auf Anregung von Herrn Privatdozenten Dr Carl Tigerstedt haben wir daher die im Folgenden darzulegende Versuchsreihe durchgeführt.

Die Arbeit fand am Ergographen Johanssons[2]) und zwar nach folgendem Schema statt.

Die Belastung betrug während der ersten Versuchstage 40 kg, wurde aber vom 22. Tage an auf 60 kg erhöht, weil dank der stattgefundenen Übung die Versuchsperson allmählich fähig war, das ursprüngliche Gewicht fast unbegrenzt im festgestellten Rhytmus zu heben.

Die Frequenz der Kontraktionen wurde nach einem Metronom geregelt in der Weise, dass eine Kontraktion jede zweite Sekunde stattfand.

---

[1] Der Redaktion am 1. Oktober 1917 zugegangen.

[2] S. Handbuch d. physiol. Methodik, 1 (3), S. 60. Leipzig 1909.

Bei jeder Kontraktion wurde das Gewicht bis auf eine bestimmte Höhe gehoben und damit so lange fortgesetzt, bis es der Versuchsperson nicht mehr möglich war, diese Arbeit zu leisten. Zur Kontrolle folgten noch einige, unternormale Kontraktionen.

Nach Ende einer solchen »Periode» wurde eine Ruhepause von 3 Minuten Dauer eingeschaltet und dann eine neue Periode wieder angefangen. Nachdem zehn Perioden durchgeführt waren, wurde die Ruhepause zwischen der 10. und der 11. Periode auf 10 Minuten verlängert. Während dieser langen Pause wurden die beiden Arme etwa 8 $^1/_2$—9 Minuten lang mit heisser Luft behandelt und danach wieder zehn Perioden mit einer Ruhepause von normaler Länge, d. h. 3 Minuten, ausgeführt.

Jeder Versuch bestand also aus zwei, durch eine Ruhepause von 10 Minuten voneinander getrennten Abteilungen von je 10 Perioden mit einer Zwischenzeit von 3 Minuten. Der Einfluss der heissen Luft bezog sich auf die zweite Abteilung des Versuches.

Die Versuche fanden, mit einigen aus äusseren Umständen bedingten Unterbrechungen, während 35 Tage jeden Tag um 8 Uhr vormittags statt. Während der ganzen Versuchszeit suchte die Versuchsperson eine möglichst regelmässige und ruhige Lebensweise zu beobachten.

Die Heissluftbehandlung wurde durch die gewöhnlichen zu diesem Zwecke konstruierten Apparate mit Spiritusheizung administriert. Sofort nach Ende der 10. Periode wurden die Arme in je einen Apparat hineingeführt. Weil es nicht möglich war, die Temperatur in den Apparaten konstant zu erhalten, wurde diese nicht genau gemessen, sondern nur die höchste Temperatur angewandt, welche die Versuchsperson ohne grössere Schwierigkeit ertragen konnte.

Nach jeder Periode wurde auch die Pulsfrequenz aufgenommen; da die dabei erhaltenen Angaben indessen kein besonderes Interesse darbieten, haben wir keine Veranlassung gefunden, sie hier mitzuteilen.

In der folgenden Tabelle sind die von uns erhaltenen Werte für die bei jeder Periode geleistete Arbeit in kg-m angegeben. Diese Zahlen sind insofern zu klein, als sie sich nur auf die reine Hubarbeit (Belastung × Summe der Hubhöhen) beziehen und also die bei der Senkung der Belastung stattgefundene Muskeltätigkeit wie auch die Einwirkung der Reibung im Ergographen selbst vernachlässigen. Da sich diese Termen indessen bei jedem einzelnen Hub in gleicher Weise geltend machen, kann die betreffende Vernachlässigung

auf den Vergleich zwischen den einzelnen Versuchen keinen Einfluss ausgeübt haben.

Wie eine überaus grosse Erfahrung ergeben hat, nimmt die Leistungsfähigkeit der Skeletmuskeln durch die Arbeit allmählich und ziemlich schnell zu, und es ist daher bei der Untersuchung über den Einfluss irgend eines speziellen Umstandes auf die Muskelleistung dringend notwendig, durch eine vorhergehende Trainierung die Muskeln in einen solchen Zustand zu bringen, dass man einigermassen voraussehen kann, wie sich die Gesammtleistung der arbeitenden Muskeln an und für sich von dem einen Tage zum anderen verändern würde, denn nur unter dieser Voraussetzung ist es möglich, die Einwirkung des betreffenden Umstandes klar zu legen.

Bei der vorliegenden Versuchsreihe wurde daher während der ersten Tage nur reine Hubversuche nach dem schon erwähnten Schema ausgeführt und erst am 11. Tage fing die Heissluftbehandlung an.

Um die Einwirkung derselben deutlicher hervortreten zu lassen, ist sie nur jeden zweiten Tag angewendet worden; dadurch liegt die Möglichkeit vor, die Leistung der Muskeln, je nachdem sie der Heissluftbehandlung ausgesetzt gewesen sind oder nicht, direkt zu vergleichen.

In der folgenden Tabelle bezeichnet I, II, III usw. die Versuche 1, 2, 3 usw. die Perioden bei den einzelnen Versuchen, *H. L.* die Applikation der Heissluftbehandlung, S_{I} die Gesammtleistung während Periode 1—10, S_{II} die während Periode 11—20, $S_{\text{I+II}}$ die Gesammtleistung während des ganzen Versuches.

Wie bei den früheren, im hiesigen Institut ausgeführten Untersuchungen über die Muskelarbeit des Menschen, sinkt die gesammte Arbeitsleistung vom ersten Versuchstage zum zweiten etwas herab, hier von 5327 auf 5111 kg-m, um darauf allmählich anzusteigen, bis ein Maximum von 28194 kg-m am 21. Versuchstage erreicht wird. Dann wird vom 22. Versuchstage (25. März) an die Belastung von 40 auf 60 kg erhöht, und dem entsprechend nimmt die Arbeitsleistung auf weniger als die Hälfte, 10478 kg-m, ab; sie erhebt sich im weiteren Verlauf der Versuchsreihe bis zum 30. Tage (4. April) auf 15037 kg-m.

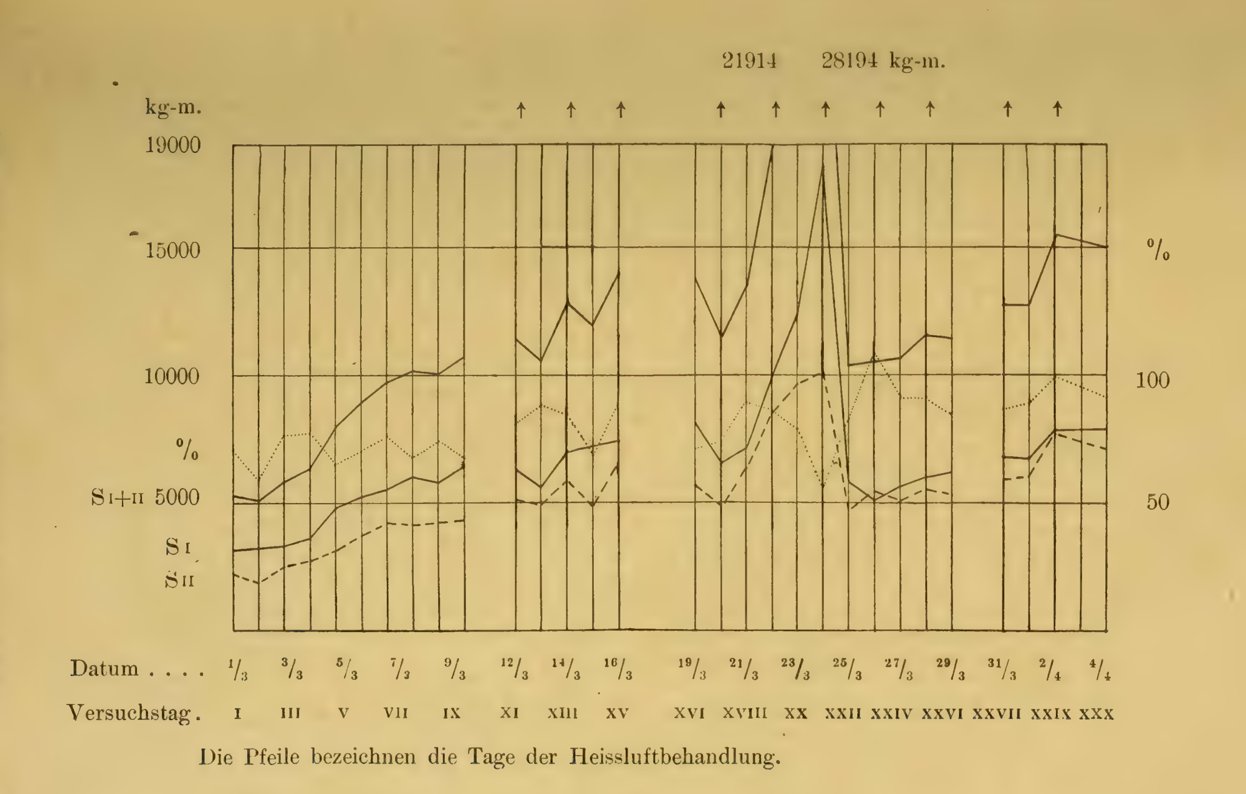
Die Zunahme der Arbeitsleistung erfolgt in der vorliegenden Reihe nicht ganz ununterbrochen, sondern zeigt in den Versuchen mit einer Belastung von 40 kg am 9., 12., 14., 16. und 17. Versuchstage (9., 13., 15., 19. und 20. März) eine mehr oder minder bedeutende Abnahme.

Arbeit; kg-m. Belastung Tag I—XXI:

Periode	I	II	III	IV	V	V	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3
1	500	527	623	505	705	794	892	1072	1032	1058	1205	902	1163	1416	1567
2	349	475	369	361	505	534	519	643	596	746	808	543	903	869	645
3	375	459	317	367	508	529	511	678	586	618	628	532	651	665	776
4	364	349	230	363	469	550	722	620	546	770	565	555	569	655	768
5	304	350	303	364	397	504	498	609	537	642	478	515	730	588	626
6	322	264	265	236	430	473	485	519	526	550	566	502	613	539	621
7	253	216	300	406	427	485	450	450	494	541	536	512	668	678	687
8	238	195	283	326	437	487	465	536	517	501	527	503	567	596	576
9	223	197	312	307	493	417	441	451	482	517	489	552	564	520	555
10	192	183	315	331	418	478	515	469	454	470	518	483	537	645	578
											H. L.		H. L.		H. L.
11	316	220	378	449	440	611	618	514	730	550	600	623	1093	673	865
12	212	185	264	265	360	443	496	556	531	512	591	642	578	565	760
13	237	189	268	278	326	366	452	392	392	486	514	672	771	579	589
14	234	183	238	261	282	360	408	464	390	415	486	484	594	469	637
15	205	183	225	267	275	343	423	403	422	432	502	455	495	524	582
16	215	195	230	262	293	316	362	375	370	391	584	443	488	525	580
17	205	192	231	234	290	321	376	369	351	381	549	435	478	380	667
18	199	198	235	240	287	327	369	358	373	399	446	427	454	373	656
19	186	176	231	246	289	294	358	321	344	391	427	358	474	384	529
20	198	175	217	245	285	307	321	344	330	379	388	393	416	401	624
S I	3120	3215	3317	3566	4789	5251	5498	6047	5770	6413	6320	5599	6967	7171	73[illegible]9
S II	2207	1896	2517	2747	3127	3688	4183	4095	4233	4336	5087	4932	5841	4873	6489
S I+II	5327	5111	5834	6313	7916	8939	9681	10142	10003	10749	11407	10531	12808	12044	13888

40 kg; Tag XXII—XXX: 60 kg.

XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XXV	XXVI	XXVII	XXVIII	XXIX	XXX
19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.3	31.3	1.4	2.4	4.4
1556	1329	1305	2033	2408	3931	831	484	817	823	892	930	934	1049	907
1331	678	737	1322	1601	2116	598	592	621	595	586	815	745	765	856
1102	621	744	838	1254	2299	621	478	548	611	718	620	744	841	918
608	677	670	716	1078	1330	575	511	579	547	578	643	735	794	822
654	566	640	835	1082	1526	502	454	524	524	597	736	569	746	753
605	561	658	776	1163	1561	542	502	537	514	574	600	648	719	744
549	531	590	893	1019	1433	534	489	503	648	578	551	616	694	720
525	545	646	799	948	1323	545	431	506	561	548	620	589	673	742
603	589	580	960	906	1306	498	484	485	521	593	642	609	687	715
553	515	551	698	819	1272	509	634	443	630	526	612	556	770	716
	H. L.		H. L.		H. L.		H. L.		H. L.		H. L.		H. L.	
815	680	779	1046	1429	1463	640	477	638	678	640	759	712	969	826
566	552	775	1027	1219	1350	500	438	506	554	574	638	671	923	689
619	528	669	855	947	1034	479	497	479	572	512	548	590	815	643
580	477	616	1052	893	891	459	478	481	480	523	579	639	715	688
520	512	594	885	972	977	423	587	530	475	523	547	585	766	714
585	485	664	797	911	789	466	477	556	548	524	670	565	768	735
495	482	680	773	805	1009	468	534	461	591	532	608	593	699	881
587	457	569	673	850	844	418	642	480	515	485	598	573	645	685
434	366	506	758	814	847	451	594	473	520	480	519	545	730	670
519	373	481	640	796	883	419	758	472	522	470	465	517	623	613
8086	6612	7121	9870	12278	18107	5755	5059	5563	6004	6190	6769	6745	7738	7893
5720	4912	6333	8506	9636	10087	4723	5482	5076	5455	5263	5931	5990	7653	7144
13806	11524	13454	18376	21914	28194	10478	10541	10639	11459	11453	12700	12735	15391	15037



Die Pfeile bezeichnen die Tage der Heissluftbehandlung.

Die grosse Abnahme am 22. Versuchstage (25. März) ist durch den Wechsel der Belastung verursacht und bedarf daher keiner näheren Besprechung.

Die Abnahme am 9. und 16. Versuchstag, 139 bzw. 82 kg-m, ist an und für sich nicht gross und dürfte wohl als ganz zufällig aufgefasst werden können. Am 12. und 14. Versuchstage ist die Abnahme dagegen ziemlich bedeutend, 876 bzw. 764 kg-m. Diese Abnahme möchten wir in Zusammenhang damit bringen, dass die Versuchsperson am vorhergehenden Tage einer sehr unangenehmen psychischen Erregung ausgesetzt gewesen war, dessen Folgen sich bei dem danach stattgefundenen Arbeitstage geltend machten.

Die Abnahme der Arbeitsleistung am 17. Versuchstage steht wohl in Beziehung mit der am 17. März stattgefundenen russischen Revolution. Es wurde nämlich am 17. und 18. März kein Versuch gemacht und die Übung ging daher zum Teil zurück, während andererseits den Muskeln eine längere Ruhezeit gegönnt wurde. Zufolge dessen ist die Arbeit am 16. Versuchstage (19. März) etwa derselben Grösse wie am 15; am 17. Versuchstage findet aber eine sehr bedeutende Abnahme, von 13806 auf 11524 kg-m, statt; es ist sehr plausibel dass auch hier eine Wirkung psychischer Art vorliegt.

Wie aus der graphischen Darstellung der Versuchsreihe hervorgeht, verlaufen die Kurven für die Arbeitsleistung während der beiden Abteilungen *S*I und *S*II der einzelnen Versuche im grossen und ganzen einander parallel, und was von der Leistung während des ganzen Versuches hier ausgeführt worden ist, ist daher auch für diese gültig.

Bis zum 10. Tage einschliesslich zeigt die Kurve der geleisteten Arbeit einen sehr regelmässigen Verlauf. Vom 11. Tage an, wo die Heissluftbehandlung eingeleitet wurde, kommt aber eine deutliche Veränderung zum Vorschein. Diese macht sich natürlich ganz besonders bei der zweiten Abteilung in den einzelnen Versuchen geltend, übt aber ihrerseits auch auf die Gesammtarbeit ihren Einfluss aus.

Während des 6. bis 10. Versuchstages betrug die Arbeitsgrösse während der Perioden 11—20 bzw. 3688, 4183, 4095, 4233 und 4336 kg-m und nahm also dabei, dem vorhergehenden Tag gegenüber, um + 561, + 495, — 88, + 138 und + 103 kg-m zu. M. a. W. die tägliche Zunahme bot während dieser Tage eine deutliche Tendenz dar, sich allmählich zu vermindern.

Nun wurde mit der Heissluftbehandlung begonnen, und es stellte sich dann bei der Belastung mit 40 kg, also bis zum 21. Versuchstage, unter der Einwirkung der heissen Luft folgende Arbeitsgrössen während der Perioden 11—20 dar: 5087, 5841, 6489, 4912, 8506 und 10087, entsprechend den vorhergehenden Tagen gegenüber eine Zunahme von + 751, + 909, + 1616, + 2173, + 451 kg.-m. Nur am 17. Versuchstage zeigt sich eine Abnahme um 808 kg.-m., deren wahrscheinliche Ursache schon erörtert worden ist.

Während der dazwischen liegenden freien Tage ist die Arbeitsgrösse, vom 12. Tage an, bei den entsprechenden Perioden 4932, 4873, 5720, 6333 und 9636 kg.-m. gewesen, also ein Veränderung den vorhergehenden Tagen gegenüber von bzw. — 155, — 968, — 769, + 1421 und + 1130 kg.-m darbietend.

Die Zunahme am 18. Versuchstage, 1421 kg-m, steht natürlich mit der abnorm geringen Leistung am Tage vorher in nahem Zusammenhang und ist an und für sich um so weniger bemerkenswert, als die Arbeitsleistung schon am 15. Versuchstage um 156 kg-m grösser war als am 18.

Dagegen stellt die grosse Zunahme am 20. Tage, 1130 kg.-m., vielleicht eine Andeutung davon dar, dass die Heissluftbehandlung auch eine länger dauernde Einwirkung hat ausüben können.

Wenn dem so ist, müsste die Arbeitsleistung während der Perioden 1—10 vom XI. Versuche an eine grössere Zunahme als bei den früheren Versuchen zeigen.

Bei den Versuchen I—X steigt die Arbeitsleistung von 3120 auf 6413 kg-m an und zwar ist die tägliche Veränderung hier bzw. + 95, + 102, + 249, + 1223, + 462, + 247, + 549, — 277 (vgl. oben S. 245), und + 643 kg-m.

Bei den Versuchen XI—XXI erhöht sich die Arbeitsgrösse von 6320 auf 18107 kg-m, und dabei beträgt die tägliche Veränderung — 93, — 721, + 1368, + 204, + 228, + 687, — 1474 (vgl. oben S. 245), + 509, + 2749, + 2408 und + 5829 kg-m.

Während der Versuche XI, XII, XIV, XV und XVI ist die absolute Zunahme während der Periode 1—10 entschieden geringer als während der Periode 11—20; nur Versuch XIII bietet in dieser Hinsicht eine Ausnahme dar, indem die Steigerung der Arbeitsleistung während der Periode 1—10 hier nicht weniger als 1368 kg-m beträgt.

In den zwischenliegenden Versuchen XII, XIV und XVI zeigen die Perioden 11—20 überhaupt keine Zunahme, sondern vielmehr eine beträchtliche Abnahme im Vergleich mit den Heisslufttagen.

Vom [XVIII. oder] XIX. Versuche an tritt aber bei den, Perioden 1—10 eine bedeutende Zunahme der Arbeitsleistung hervor, und diese Erscheinung fällt mit der Zunahme der Arbeitsgrösse während der Perioden 11—20 in den Versuchen XVIII und XX zeitlich zusammen.

Dieses scheint wiederum das Vorhandensein einer Dauerwirkung der Heissluftbehandlung anzudeuten.

Die Versuche XXII—XXX sind geeignet, diese Frage näher aufzuklären.

Da sie bei einer vermehrten Belastung ausgeführt wurden, lassen sie sich mit den früheren nicht direkt vergleichen, sondern bilden gewissermassen eine selbständige Reihe.

Unter dem Einfluss der Heissluftbehandlung steigt die Arbeitsgrösse in den Versuchen XXIII, XXV, XXVII und XXIX um bzw. 759, 379, 668 und 1663 kg-m den vorhergehenden Versuchen gegenüber an. Bei den zwischenliegenden Versuchen XXIV, XXVI, XXVIII und XXX ist die Veränderung — 406, — 192, + 59 und — 509; die Heissluftbehandlung hat also die Leistung am Tage wo sie ausgeübt wurde, entschieden in die Höhe getrieben.

Dadurch ist es indessen noch nicht erwiesen, dass sie nicht auch einen Dauererfolg gehabt hat. Wenn dem so wäre, so müsste sich bei den ersten 10 Perioden eine Zunahme zeigen. Wir finden in dieser Hinsicht folgende Zahlen: — 696, + 504, + 441, + 186. + 579, — 24, + 993, + 155. Wie ersichtlich sind diese Zahlen etwa derselben Grössenordnung wie die bei den Versuchen I—X während der entsprechenden Perioden gefundenen. Da aber die Belastung hier wesentlich grösser war, sprechen diese Resultate wenigstens nicht gegen die Annahme einer Dauerwirkung der Heissluftbehandlung.

Um die Frage noch weiter zu prüfen, haben wir für alle 30 Versuche berechnet, wie viel Prozent die Arbeit während der Perioden 11—20 von der während der Perioden 1—10 ausgeführten beträgt. Wir sind dabei von der Vorstellung ausgegangen, dass, wenn eine Dauerwirkung der Heissluftbehandlung wirklich stattfindet, die Arbeit während der späteren Perioden auch an den eingeschalteten freien Tagen im Vergleich mit der Arbeit während der ersten Perioden etwas grösser als sonst sein müsste.

Die Resultate dieser Berechung sind in folgender Tabelle enthalten. In derselben sind die Heissluftversuche mit fetter Schrift ausgehoben.

Versuch	Prozent	Versuch	Prozent
I	70.7	XVI	70.7
II	59.0	XVII	**74.3**
III	75.9	XVIII	88.9
IV	77.0	XIX	**86.2**
V	65.3	XX	78.5
VI	70.2	XXI	**55.7**
VII	76.1	XXII	82.1
VIII	67.7	XXIII	**108.4**
IX	73.5	XXIV	91.2
X	67.6	XXV	**90.9**
XI	**80.5**	XXVI	85.0
XII	88.1	XXVII	**87.5**
XIII	**83.8**	XXVIII	88.8
XIV	67.9	XXIX	**98.9**
XV	**87.7**	XXX	90.5

Im Durchschnitt finden wir bei den Versuchen I—V: 69.6, bei den Versuchen VI--X: 71.0, mit den Grenzwerten 59.0 und 77.0. Für die Versuche mit Heissluftbehandlung (XI, XIII, XV, XVII, XIX, XXI, XXIII, XXV, XXVII, XXIX) ist das Mittel 85.4 und die Grenzwerte 55.7 bzw. 108.4, sowie für die eingeschalteten Versuche ohne Heissluft (XII, XIV, XVI, XVIII, XX, XXII, XXIV, XXVI, XXVIII, XXX) 83.2; Grenzwerte 67.9 bzw. 91.2 Prozent.

Sobald die Heissluftbehandlung beginnt, nimmt also die Arbeitsgrösse während der Perioden 11—20 im Vergleich mit den früheren Perioden entschieden zu, und zwar findet dies nicht allein bei den Heisslufttagen, sondern auch bei den zwischenliegenden Tagen statt. Dabei ist noch zu bemerken, dass es unter den 20 Versuchen der ganzen Heissluftperiode nur viermal vorkommt, dass die Prozentzahl niedriger wäre als das Maximum bei den Versuchen I—X.

Man könnte allerdings geneigt sein, die hier erörterte Erscheinung einfach als Ausdruck der immer weiter fortschreitenden Übung an und für sich aufzufassen, trägt ja das Trainieren, wie Hellsten[1]) nachgewiesen hat, in hohem Grade dazu bei, die Arbeitsprästation

[1] Hellsten, Dies Archiv, 19, S. 218; 1907.

während der einzelnen Perioden eines und desselben Versuches gleichmässiger zu machen.

Dagegen lässt es sich indessen einwenden, dass die Arbeitsleistung unter dem Einfluss der Heissluftbehandlung entschieden in die Höhe steigt, sowie dass der hier erörterte Anstieg der prozentigen Leistung nach Beginn der Heissluftbehandlung wie aus der Tabelle S. 244 und dem Diagramm ersichtlich, ziemlich plötzlich und unvermittelt einsetzt.

Um eine Vorstellung von der Grösse der durch die direkte Einwirkung der Heissluftbehandlung erzielte Zunahme der Arbeitsleistung zu gewinnen, haben wir die Arbeitsgrösse während der Perioden 11—20 bei den Versuchen mit Heissluftbehandlung XI, XIII, XV, XVII, XIX und XXI mit der bei den entsprechenden Versuchen ohne Heissluft XII, XIV, XVI, XVIII und XX, ohne die Versuche auszuschliessen, wo die Arbeitsgrösse bei der Heissluftbehandlung kleiner war, miteinander verglichen. Als Durchschnitt erhalten wir bei jenen eine Arbeit von 6820, bei diesen eine von 6299 kg-m. Die Differenz, 521 kg-m, entspricht 8.3 Prozent.

In derselben Weise berechnet, geben die Versuche XXII—XXX bei Heissluftbehandlung im Durchschnitt 6130 und ohne diese 5639 kg-m. Die Differenz, 491 kg-m, ist gleich 8.7 Prozent.

Wir möchten also aus diesen Versuchen folgern, dass *die örtliche Heissluftbehandlung die Leistungsfähigkeit der Skeletmuskeln des Menschen in nachweisbarem Grade erhöht*, sowie:

dass sie *wahrscheinlich auch eine Dauerwirkung ausübt, die sich noch am folgenden Tage zu erkennen gibt.*

Wir geben aber zu, dass die vorliegenden Erfahrungen noch gar zu wenig umfassend sind, um in letzterer Hinsicht ganz bestimmte Schlüsse zu gestatten.

Kontrollversuche am Respirationsapparat des physiologischen Instituts in Helsingfors [1].

Von

Hanna Olin.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors).

Im Laufe der Jahre sind am hiesigen Respirationsapparat nach Sondén-R. Tigerstedt von Zeit zu Zeit Kontrollversuche in der Weise angestellt worden, dass in der Respirationskammer Stearinkerzen von bekanntem Kohlenstoffgehalt verbrannt wurden und die dabei durch Analyse gefundene Kohlensäuremenge mit der aus dem Gewichtsverlust der Kerze berechneten verglichen worden ist.

Die Resultate dieser, schon früher veröffentlichten Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt (Tab. 1).

Wenn wir aus den Differenzen der gefundenen und der berechneten Kohlenstoffmenge, ohne Berücksichtigung der Vorzeichen, das Gesamtmittel berechnen, so erhalten wir einen Fehler von

$$\pm 0.5 \text{ g } C = \pm 2.5 \text{ \%} \ C.$$

Aus der Tabelle geht ferner hervor, dass die Kontrollversuche im allgemeinen etwas zu niedrige Werte liefern, indem unter 29 Versuchen die gefundene Zahl in 20 Fällen kleiner ist als die berechnete.

Die Ursache dieses Verhaltens dürfte in erster Linie in einer unvollständigen Verbrennung der Stearinkerze gesucht werden müssen. Auch zeigte die Flamme, trotz aller Vorsicht bei der Aufstellung der

[1] Der Redaktion am 15. August 1919 zugegangen.

Tab. 1. *Kontrollversuche mit Stearinkerzen.*

Datum	Kohlenstoff; g			Prozentige Differenz	Autor
	Gefunden	Berechnet	Differenz		
1906, 11. Mai . . .	31.3	30.3	+ 1.0	3.1	R. Tigerstedt [1]
14. » . . .	30.0	29.1	+ 0.9	3.1	
17. » . . .	27.9	28.5	— 0.6	2.1	
18. » . . .	28.7	28.2	+ 0.6	2.0	
20. » . . .	27.1	28.0	— 0.9	3.2	
12. Juli . . .	28.6	29.3	— 0.7	2.3	
13. » . . .	29.3	29.7	— 0.4	1.1	
1912, 30. April . .	23.7	24.9	— 1.2	4.7	Becker u. Hämäläinen [2]
1913, 1. » . .	15.3	15.2	— 0.0	0.0	
1912, 13. Dez. . .	14.2	14,6	— 0.4	2.6	Sjöström [3]
1913, 20. Jan. . .	14.0	14.3	— 0.3	1.9	
22. » . .	14.6	15.1	— 0.5	3.2	
11. Febr. . .	14.8	15.0	— 0.2	1.1	
1913, 28. Okt. . .	15.5	15.8	— 0.3	1.9	Olin [4]
19. Dez. . .	15.3	15.9	— 0.6	3.8	
1914, 6. Febr. . .	14.4	15.0	— 0.6	4.0	
2. März . .	15.0	15.6	— 0.6	3.8	
31. » . .	14.8	15.4	— 0.6	3.9	
2. Mai . .	14.5	15.2	— 0.7	4.6	
29. » . .	15.5	15.4	+ 0.1	0.6	
14. Okt. . .	16.0	15.7	+ 0.3	1.9	
24. Nov. . .	14.9	15.4	— 0.5	3.2	
19. Dez. . .	15.1	14.7	+ 0.4	2.7	
1915, 16. Jan. . .	14.9	15.2	— 0.3	2.0	
16. Febr. . .	14.9	14.8	+ 0.1	0.7	
23. März . .	16.4	16.4	0.0	0.0	
1915, 3. Okt. . .	12.8	13.3	— 0.5	3.8	Dahlström u. Nordberg [5]
10. Nov. . .	20.2	20.5	— 0.3	1.6	
23. Dez. . .	22.0	22.9	— 0.9	3.8	

[1] R. Tigerstedt, Dies Archiv, 18, S. 302; 1906. Ein Versuch, der offenbar mit irgend welchem abnormen Fehler behaftet gewesen ist (C berechnet 29.2, gefunden 26.7, Differenz 2.5 g), ist hier ausgeschlossen.

[2] Becker u. Hämäläinen, Dies Archiv, 31, S. 207; 1914.

[3] Sjöström, Dies Archiv, 30, S. 22; 1914.

[4] Olin, Dies Archiv, 34, S. 418; 1915.

[5] Dahlström u. Nordberg, Dies Archiv, 36, S. 258; 1917.

Kerze wie bei der sonstigen Anordnung der Versuche, eine grosse Neigung emporzuschiessen und dabei nicht ganz unbedeutende Mengen unverbrannten Kohlenstoffes in Form von Russ abzugeben.

Um diesen Übelstand zu vermeiden, schlug Herr Doctor C. Tigerstedt vor, den Respirationsapparat durch eine von aussen her eingeleitete, bekannte Menge Kohlensäure zu prüfen.

Die Resultate einer nach dieser Methode ausgeführten Prüfung sind im Folgenden dargestellt.

Die Kohlensäure wurde aus einer mit drei Öffnungen versehenen und mit Marmor beschickten Woulffschen Flasche von etwa $1\,^1/_2$ l Inhalt entwickelt. Durch die mittlere Öffnung strömte aus einem 25 cm hohen, zylindrischen und mit einem Hahn abstellbaren Trichter verdünnte Salzsäure (1 : 3) in die Flasche tropfenweise hinein.

In den Trichter tauchte eine mit einem umgekehrten und mit Salzsäure gefüllten Glasballon verbundene Glasröhre hinein. Sobald die Säure im Trichter unterhalb der Mündung dieser Röhre herabgesunken war, floss neue Säure aus dem Ballon hinzu. Hierdurch wurde also der Stand der Säure im Trichter und somit auch der Druck, unter welchem die Säure in die Woulffsche Flasche hineingetrieben wurde, konstant erhalten.

Die solcherart entwickelte Kohlensäure wurde durch eine in die zweite Öffnung der Woulffschen Flasche eingesetzte Röhre wegen Reinigung und Trocknens durch eine Waschflasche mit $KMnO_4$ und zwei $CaCl_2$-Türmer [1] getrieben und dann in die Respirationskammer geleitet.

Die dritte Öffnung der Woulffschen Flasche war mit einer Glasröhre, die etwa $^1/_2$ cm oberhalb des Bodens endete, versehen; diese Röhre diente dazu, um Luft bei Bedarf durch das System zu treiben.

Der Gewichtsverlust des ganzen Systems gab die bei einem Versuch entwickelte Kohlensäuremenge an.

Um die Dichte des Systems zu prüfen, wurde die in der beschriebenen Weise daselbst entwickelte Kohlensäure durch Absorptionsgefässe mit Kalilauge und Natronkalk geleitet. Dabei ergaben sich die in Tab. 2 zusammengestellten Resultate.

---

[1] Abderhalden, Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden, 1, S. 269.

Tab. 2. *Prüfung des Systems.*

Datum	Gewichtsverlust des Systems; g	Gewichtsvermehrung der Absorptionsgefässe; g	Differenz; g
1917, 13. Juni . .	6.85	6.70	— 0.15
16. Juli . . .	10.92	11.05	+ 0.13

Da beim Wägen der verhältnismässig schweren Gefässen, aus welchen das System zusammengesetzt war — das schwerste Gefäss wog 1300 g, das leichteste 250 g, der Fehler bei der zu meiner Verfügung stehenden Wage wenigstens auf 0.02 g veranschlagen werden muss, dürften die in der Tabelle 2 aufgenommenen Resultate als völlig befriedigend bezeichnet werden können.

Bei den Kontrollversuchen wurde die Kohlensäure mittelst einer 7 mm weiten Glasröhre in die Respirationskammer geleitet. Die Röhre mündete vor dem einen der daselbst aufgestellten Ventilatoren mit 1800 Umdrehungen in der Minute. Der andere Ventilator, mit 1500 Umdrehungen, war so gestellt, dass beide Ventilatoren in derselben Gerade standen. Um eine möglichst gleichmässige Mischung der Luft in der Respirationskammer zu erzielen, wurden die Ventilatoren so plaziert, dass ihre Bodenflächen mit dem Fussboden einen Winkel von etwa 30° bildeten.

Sofort nach der ersten Probeentnahme begann die Kohlensäureentwicklung aus dem vorher gewogenen und eingekuppelten System. Die Zufuhr von Säure wurde so geregelt, dass etwa ein Tropfen in der Sekunde in die Woulffsche Flasche hineinkam. Nach 1 oder 2 Stunden wurden dann neue Luftproben zur Analyse entnommen.

Nachdem die Kohlensäureentwickelung die bestimmte Zeit — 45 Minuten bis 6 Stunden — stattgefunden hatte, wurde die Säurezufuhr abgestellt und Luft, welche Natronkalk passiert hatte, durch die dritte Öffnung in die Woulffsche Flasche so lange getrieben, bis die Kohlensäureentwicklung so gut wie vollständig aufgehört hatte, was eine Zeit von etwa 15 bis 20 Minuten beanspruchte. Dann wurde die letzte Luftprobe entnommen, das System abgekuppelt und gewogen.

Die Gleichung, nach welcher die Analyseresultate berechnet werden, setzt eine gleichmässige Zufuhr von Kohlensäure in die Respirationskammer voraus. Da aber die im letzten Abschnitt des Versuches in die Respirationskammer eintretende Kohlensäure unter der Einwirkung eines Luftstromes dorthin hineingetrieben wurde, liess es sich denken, dass hierdurch ein nicht zu vernachlässigender Fehler entstehen könnte. Um dies möglichst zu vermeiden, wurde bei den ersten Versuchen die Ventilation auf nur 4 kub-m in der Stunde beschränkt. Es erwies sich aber, dass ganz dieselben Resultate auch bei einer etwa doppelt so starken Ventilation, wie sie bei den späteren Versuchen stattfand, gezeitigt wurden.

Die Resultate dieser Kontrollversuche sind in folgender Tabelle 3 eingetragen.

Tab. 3. *Kontrollversuche mit Kohlensäure.*

Datum	Dauer des Versuches	Kohlenstoff; g			Prozentige Differenz
		Gefunden	Berechnet	Differenz	
1917, 7. Juli . .	2h 45m	9.19	9.47	— 0.28	2.96
1918 15. Febr. .	—	17.40	17.28	+ 0.12	0.70
30. April .	—	13.82	14.05	— 0.23	1.64
30. Okt. .	6h 30m	21.33	21.69	— 0.36	1.66
1. Dez. .	2 8m	10.56	10.58	— 0.02	0.19
1919, 15. Febr. .	2h 6m	11.30	11.30	0	0
16. » . .	2h 15m	13.13	13.03	+ 0.10	0.77
17. » . .	2h	11.53	11.88	— 0.35	2.95
19. März .	1h	5.79	5.75	+ 0.04	0.70

Die gefundenen und berechneten Werte zeigen hier einen wesentlich geringeren Unterschied als bei den Versuchen mit Stearinkerzen. Während die Differenz bei diesen durchschnittlich ± 0.50 g C $= 2.5\,\%$ betrug, ist sie bei jenen im Durchschnitt nur

$$\pm 0.17 \text{ g } C = \pm 1.29 \text{ Proz. } C,$$

und die maximale Differenz erreicht hier nicht 0.4 g.

Bei seiner Prüfung des Respirationsapparates in Stockholm kam Johansson[1] zu dem Resultat, dass man bei der Bestimmung der in einer Versuchsperiode stattgefundenen Kohlensäureentwicklung höchstens einen Fehler von ± 1.5 g $= \pm 0.4$ g C zu befürchten hat. Unter Berücksichtigung des bei den Kontrollversuchen auftretenden konstanten Fehlers, sank der mittlere Fehler auf ± 0.92 g CO_2 $= \pm 0.17$ g C herab. Dieser Wert stimmt mit dem von mir ermittelten, bei welchem auf den etwa noch vorhandenen konstanten Fehler keine Rücksicht genommen worden ist, genau überein.

Dieselbe Genauigkeit, d. h. ein mittlerer Fehler von ± 0.95 g CO_2 $= \pm 0.18$ g C, ist auch bei der von Thora Rosenberg[2] unternommenen Prüfung des Stockholmer Respirationsapparates erzielt worden.

Aus allen diesen Kontrollversuchen geht also hervor, dass der mittlere Fehler bei der Kohlenstoffbestimmung mittelst des Respirationsapparates von Sondén und R. Tigerstedt beim einzelnen Versuch ± 0.18 g beträgt. Der wahrscheinliche Fehler ist also ± 0.12 g oder rund ± 0.1 g C.

Bei einer minimalen Kohlensäureproduktion, wie sie bei der vorsätzlichen Muskelruhe des Menschen erscheint und je nach der Grösse der Versuchsperson einer Kohlenstoffabgabe von etwa 4 bis 7 g in der Stunde entspricht, würde also der Fehler nur etwa 1 bis 2 % oder etwas mehr betragen. Bei grösserer Produktion von Kohlensäure ist natürlich die Genauigkeit, in Prozent ausgedrückt, wesentlich grösser.

---

[1] Johansson, Dies Archiv, 8, S. 96; 1898.
[2] Thora Rosenberg, Dies Archiv, 16, S. 82; 1904.

Studien über die adstringierenden Wirkungen der Metallsalze [1].

Von

Dr John Grönberg, Wiborg.

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Erlangen und dem Krankenhaus in Wiborg).

Die Wirkungen der Adstringentien waren auf empirischem Wege viel früher bekannt, als sie experimental-pharmakologisch geprüft wurden. Ihr Nahme steht in Zusammenhang mit ihrem typisch zusammenziehenden Geschmack. Diese Definition ist jedoch nur ein sehr mangelhafter Ausdruck ihrer übrigen Eigenschaften und Wirkungen. Auch Koberts u. a. Benennung »Häutchenbildner» ist nicht viel glücklicher gewählt, und daher ist der traditionelle Nahme Adstringentien in der modernen pharmakologischen Literatur immer noch beibehalten worden.

In chemischer Hinsicht zeichnen die Adstringentien sich dadurch aus, dass sie leim-, gummi- und stärkeartige Substanzen, Eiweissstoffe, Alkaloide und mehrere Schwermetallsalzen aus ihren neutralen oder schwach sauren Lösungen unter Bildung von Tannaten fällen. Weiter bilden die Gerbstoffe mit Ferrisalzlösungen tintenartige Produkte und finden deswegen technische Verwendung zur Bereitung von Tinte.

In biologischer Hinsicht schreibt Kobert den Gerbstoffen vier verschiedene Merkmale zu: sie haben einen zusammenziehenden Geschmack; sie bilden auf Wundflächen ein Häutchen; die Schwellung entzündeter Schleimhäute nimmt unter ihrer Einwirkung ab; sie verwandeln von Epithel entblösste rohe Tierhäute in Leder.

---

[1] Der Redaktion am 15. August 1919 zugegangen.

Ihre therapeutischen Wirkungen sind ziemlich komplizierter Art und noch nicht völlig bekannt. Durch die Untersuchungen von Rosenstirn, Fikentscher, Heinz, Kobert und seiner Schüler wissen wir etwa folgendes.

Mit albuminoiden Zellenkomplexen bilden die Adstringentien kolloidartige Produkte, die in ihrer Konsistenz desto fester werden, je unlöslicher sie sind. Auf Schleimhäute appliziert, zerstören die Adstringentien einen Teil des Protoplasmas in den an der Oberfläche gelegenen Zellenschichten, die dadurch zu einem Häutchen umgewandelt werden und in dieser Weise einen gewissen Schutz gegen die Invasion von Bakterien, sowie gegen leichtere Insulte chemischer oder mechanischer Art bilden.

Bei der Behandlung granulierender oder wunder Schleimhäuten mit Adstringentien bestimmter Konzentration wird die Sekretion gehemmt, die Ringmuskulatur der oberflächlichen Blutgefässe schrumpft zusammen, wodurch ihre Lumina enger werden, die Kittsubstanz zwischen den Endothelien wird fester; ein Prozess, der ähnlich der Gerbung ist. Durch diese Veränderungen werden die Wände der Kapillaren undurchdringlich für Leukozyten und Plasma.

Während eine entzündete Schleimhaut mit Schwellung, Hyperämie und vermehrter Sekretion reagiert, üben die Adstringentien ganz entgegengesetzte Wirkungen aus. Durch die Schrumpfung der Blutgefässe nimmt nämlich die Schwellung ab, die Schleimhaut wird anämisch und wegen der gehemmten Sekretion trocken. In diesen Veränderungen findet sich eine der Hauptindikationen für die therapeutische Anwendung der adstringierenden Mittel.

Diese Wirkungen sind jedoch ganz und gar abhängig von der Konzentration der adstringierenden Lösung. Wenn wir nämlich eine gewisse Grenze der Konzentration überschreiten, so entfaltet das Mittel reine ätzende Eigenschaften. Die Wirkung bleibt dann nicht nur auf die oberflächlichsten Zellenschicht der Schleimhaut beschränkt, sondern das Mittel wirkt auch auf die tiefer gelegenen Zellen deletär ein.

Der Unterschied zwischen der adstringierenden und der ätzenden Wirkung ist also nur ein quantitativer und deswegen spielt die Konzentration der adstringierenden Lösung in praktischer Hinsicht eine grosse Rolle.

Arbeitsplan und Versuchsmaterial.

Bei der Prüfung der antiseptischen Wirkungen gewisser Metallverbindungen, die ich vorgenommen habe, war es auch von grossem Interesse ihre adstringierenden Eigenschaften und Wirkungen, die noch nicht genügend bekannt sind, kennen zu lernen.

Bei der Untersuchung von Metallsalzen, die schon in sehr schwacher Konzentration adstringierend wirken, ist es von der grössten Bedeutung, dass der Untersucher sich von der Reinheit und der Zusammensetzung der angewandten Substanzen überzeugt hat, ist ja schon der Krystallwassergehalt in vielen Metallsalzen ganz inkonstant.

Die Forscher, die sich früher mit dieser Frage beschäftigt haben, geben den Gehalt der geprüften Salzlösungen in $^0/_0$ an. Wegen der wechselnden Wertigkeit der Metalle und Säuren, der verschiedenen Menge Krystallwasser usw. werden die Resultate aber nach dieser Berechnung weder richtig, noch miteinander vergleichbar. Etwas absolutes kann man in dieser Beziehung zwar nicht erreichen, denn einige Metallsalze sind von so kompliziertem Bau, dass man nicht immer sicher wissen kann, welches Element als das typische Adstringens anzusehen ist.

Der Wahrheit am nächsten kommt man jedoch, wenn man aus den Molekulargewichten der analysierten Salze die Werte ihrer Normallösungen berechnet. Dadurch werden die meisten Fehler eliminiert.

Auch die Methodik der Untersuchung von Adstringentien ist noch in mancher Hinsicht mangelhaft. Systematische vergleichende Untersuchungen über die verschiedenen Methoden nach einheitlichen Prinzipien sind noch nicht publiziert worden.

Aus diesen Gründen stellte ich mir folgendes Programm:

1) die bisher bekannten und einige noch nicht näher geprüfte experimentelle Methoden miteinander zu vergleichen, um in der Weise nachweisen zu können, welche Methoden nur ein mehr wissenschaftliches Interesse darbieten, und besonders die Methoden zu studieren, denen eine praktische Bedeutung zuzuschreiben ist. Als praktisch verwertbar wären die Methoden anzusehen, die sicher, einfach und wenig zeitraubend sind, so dass man durch sie bei der ersten orientierenden Untersuchung von neuen Arzneimitteln einen Einblick auch hinsichtlich ihrer adstrigierenden Wirkung gewinnen könnte.

2) Um dieses Ziel zu erreichen, habe ich die wichtigsten adstringierenden Metallsalze in verschieden konzentrierten Lösungen miteinander verglichen.

Zunächst kamen die Salze der Schwermetalle zur Untersuchung. Da in letzterer Zeit ein neues adstringierendes und antiseptisches Mittel »Mallebrein», das aus einer 25 % Aluminium-chloricum-Lösung besteht, auf dem Markt gekommen ist, prüfte ich auch dieses Präparat und zum Vergleich damit Alaun, sowie Kalium- und Natriumchlorid bzw.-chlorat. Weiter wurden auch Kaliumpermanganat, Calciumhydrat, Borax und Borsäure geprüft.

Die Versuche zeigten indessen, dass einige dieser Substanzen auf gewisse Substrate und Tierorgane keine adstringierenden Wirkungen ausübten.

Beispielsweise mag angeführt werden, dass das Ovarium vom Frosch durch Adstringentien zusammenschrumpft und dass die rothen Blutkörperchen von vielen Tierarten zur Agglutination gebracht werden.

Indessen ging schon aus den Vorversuchen hervor, dass das Froschovarium z. B. bei KCl und NaCl in 1—2 % Lösung nicht schrumpft, sondern im Gegenteil aufquillt, während es von stärkeren Lösungen aufgelöst wird. Auch von $KClO_3$ und $NaClO_3$ in 1—6 % Lösung wurde das Froschovarium aufgequollen.

Bringt man Calciumhydrat mit dem Muzin einer Schleimhaut in Berührung, so wird das Muzin gelöst. Leitet man aber Kohlendioxyd ein, so wird nicht nur Calciumcarbonat, sondern auch das Muzin, an Calcium gebunden, gefällt. Eine analoge Reaktion geht auch bei der Applikation von Calciumhydrat auf eine Schleimhaut in natura vor sich.

Die adstringierende Wirkung der Borsäure auf das Froschovarium trat erst in einer 4 % Lösung und bei Borax in einer 2 % Lösung ein.

In bezug auf die Einwirkung der eben genannten und vieler anderen Metallsalze auf die Erythrozyten des Hammels zeigten die Versuche weiter, dass z. B, KCl und NaCl in 0,25—0,5 % Lösung nicht die geringste, und in 1—4 % Lösung eine so unbedeutende Agglutination zur Folge hatten, dass die adstringierende Grenze bei ihnen sich überhaupt nicht bestimmen liess.

Auch $KClO_3$ und $NaClO_3$ in 0,5—5 % Lösung, $KMnO_4$ in 0,006—0,2 % Lösung, sowie Borax in 0,2—4 % Lösung bewirkten gar keine Agglutination.

Aus diesen Gründen wurden diese Salze später aus den systematischen Untersuchungen ausgeschaltet, so dass das komplett untersuchte Material aus den typisch adstringierenden Schwermetallsalzen, sowie aus «Mallebrein» und zum Vergleich damit Alaun besteht.

Die angewandten Salze sind von der Firma Kahlbaum bei Berlin geliefert, wodurch eine grosse Garantie für ihre Reinheit gegeben ist. In vielen Fällen habe ich ausserdem spezielle Analysen ausgeführt und besonders den Krystallwassergehalt bestimmt.

Das »Mallebrein» stammt von der Firma Krewel & Co in Cöln a. Rh.

Die geprüften Salze, ihre Formeln, Molekulargewichte und Normallösungen gehen aus der folgenden Tabelle hervor.

Tabelle 1. *Die untersuchten Salze.*

Salz	Formel	Molekulargew.	Eine 1% Lös. des Salzes =
Kaliumchlorid	KCl	74,6	0,134 Normallös.
Kaliumchlorat	$KClO_3$	122,6	0,0815 »
Kaliumpermanganat	$KMnO_4$	158,03	0,063 »
Natriumborat	$Na_2B_4O_7 + 10\,aq$	382,3	0,052 »
Natriumchlorid	$NaCl$	58,5	0,17 »
Natriumchlorat	$NaClO_3$	106,5	0,094 »
Zinksulfat	$ZnSO_4 + 7\,aq$	287,6	0,069 »
Quecksilberchlorid	$HgCl_2$	271,2	0,074 »
Quecksilberzyanid	$HgCy_2$	252,4	0,079 »
Kupfersulfat	$CuSO_4 + 5\,aq$	249,7	0,08 »
Silbernitrat	$AgNO_3$	170	0,059 »
Bleiazetat	$Pb(C_2H_3O_2)_2 + 3\,aq$	379	0,053 »
Eisenchlorid	$FeCl_3$	162,4	0,185 »
Kal. ferrizyanid	$KFeCy_6$	329,2	0,182 »
Kal. ferrozyanid	$K_4FeCy_6 + 3\,aq$	422,3	0,142 »
Ferrosulfat	$FeSO_4 + 7\,aq$	278,2	0,0719 »
Alum. chlorat	$Al_2(ClO_3)_6$	555	0,108 »
Alaun	$K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24\,aq$	942,2	0,084 »

Versuchsmethodik.

Da die meisten Methoden für die experimentelle Prüfung der adstringierenden Wirkung auf biologischer Grundlage basiert sind, muss man, um die dabei gefundenen Werte mit einander vergleichen zu können, bei der Bestimmung der ausschlaggebenden Schlussreaktion ganz bestimmte Prinzipien befolgen.

Das einzig richtige dürfte meiner Erfahrung nach sein, den Gehalt des adstringierenden Mittels in der schwächsten Konzentration, die auf das betr. Organ noch typisch einwirkt, exakt als Normallösung zu bestimmen. In der Weise gelangt man für jede Substanz und für jedes Organ zu einer adstringierenden Grenze.

Bei der Bereitung der Lösungen ist es am einfachsten von einer stärkeren Standardlösung auszugehen, die dann sukzessive verdünnt wird.

Um im Beginn der Versuche sich zunächst über die passendste Konzentration ungefähr zu orientieren, ist es am wenigsten zeitraubend, wenn man mit schwächeren Lösungen anfängt und dann allmählig nach oben steigt.

Da es sich bei der Bestimmung der adstringierenden Grenze immer um ganz minimale Mengen der betreffenden Salze handelt, müssen sämtliche Wägungen mittelst chemischer Wage ausgeführt werden.

I. Die Einwirkung auf die Erythrozyten des Hammels.

Mit Hülfe dieser, von ihm im Jahre 1915 inventierten Methode hat Kobert hauptsächlichst die Wirkungen der adstringierenden Pflanzenrinden bestimmt.

Das Prinzip der Methode basiert auf dem Phänomen, dass die adstringierenden Mittel eine typische Einwirkung auf die in 0,9 % NaCl Lösung suspendierten roten Blutkörperchen verschiedener Tierarten ausüben. Dabei kann man beobachten, dass das Hämoglobin bei einer bestimmten Konzentration der adstringierenden Lösung sein Spektrum und seine typische rote Farbe zunächst behält. Allmählig dringt aber das Adstringens ins innere der Erythrozyten und verbindet sich mit dem Hämoglobin, welches dabei zersetzt wird und seine rote Farbe verliert.

Ich habe diese Reaktion mit Menschenblut, sowie mit serumfreien Erythrozyten vom Pferd, Rind, Schwein, Hammel, Kaninchen

und Huhn ausgeführt. Alle diese Blutarten geben wohl eine typische positive Reaktion, verhalten sich aber in bezug auf die Konzentration der Lösung ganz verschieden.

Bei der quantitativen Vergleichung von Adstringentien ist es deswegen nicht richtig, bei einigen Versuchen Menschenblut und bei anderen rote Blutkörperchen von Tieren zu verwenden, wie Kobert es gemacht hat, denn die so gewonnenen Zahlen sind nicht miteinander vergleichbar.

Eigene Versuche.

Die Bereitung der Blutkörperchen. Nach vielen vergleichenden Untersuchungen habe ich gefunden, dass man die einheitlichsten Werte in folgender Weise erhält.

Nach dem Prinzip des Wassermannschen Verfahrens wird eine abgewogene Menge Hammelblut zentrifugiert, das Serum wird abgegossen, die roten Blutkörperchen gewaschen und diese Prozedur wird noch zweimal wiederholt. Die so gewonnenen Erythrozyten werden mit so viel 0,9 % NaCl-Lösung verdünnt, dass die Mischung ebensoviel wiegt, wie die ursprüngliche Blutmenge.

Die Mischung wird in ein Patenttropfglas gelegt, das konstant 20 Tropfen pro g gibt, und im Eisschrank aufbewahrt.

2 Tropfen entsprechen genau 0,1 ccm Blut.

Die Bereitung der adstringierenden Lösungen. Als Lösungsmittel für die adstringierenden Salze wird 0,9 % NaCl-Lösung angewandt. Für Silbernitrat und Bleiazetat muss man dagegen eine etwas hypertonische Dextroselösung (4 %) benutzen.

Von den so dargestellten Lösungen verschiedener Konzentration werden je 5 ccm in Reagenzgläser desselben Kalibers, etwa 8 ccm fassend, gefüllt. Zu jeder Versuchsreihe nimmt man ein Kontrollrörchen mit 5 ccm NaCl — resp. Dextroselösung, ohne jeden Zusatz.

Zu jedem Rörchen giesst man 2 Tropfen der Blutkörperchensuspension und führt die Mischung sehr vorsichtig aus, wonach die Röhrchen in einen Raum von + 14° C gestellt und ab und zu beobachtet werden.

Bevor man mit den definitiven Versuchen anfängt, muss man sich über das Verhalten der Kontrollflüssigkeiten genau orientieren. Dabei findet man, dass die Erythrozyten in der NaCl-Lösung allmählig sich etwas zusammenballen, besonders am folgenden Tage. In der Dextroselösung ist dieses dagegen nicht oder nur in sehr

geringem Masse der Fall. Diese Zusammenballung der Erythrozyten in der NaCl-Lösung steht aber in keinem Verhältniss zu derjenigen, die in den tatsächlich adstringierenden Lösungen der Metallsalze in derselben Zeit eintritt.

Beim Vergleich der Röhrchen nach bestimmten Zeitintervallen, findet man keinen Unterschied zwischen der Kontrollflüssigkeit und den schwächeren Konzentrationen der Metallsalzlösungen. Von einer bestimmten Grenze anfangend, werden aber die adstringierenden Flüssigkeiten oben allmählig klar, während die Erythrozyten in einigen Röhrchen unten sich zu flockigen Klumpen sammeln, um in noch stärkeren Lösungen zu roten Massen zu agglutinieren, die am Boden und untersten Teil der Wände des Röhrchens haften.

Um die Schlussreaktion bestimmen zu können, hat Kobert drei verschiedene Grenzen aufgestellt.

Die Konzentration, bei welcher man eine vollständige Zusammenballung der Erythrozyten beobachten kann, bezeichnet die erste oder die s. g. Augengrenze.

Die Grenze wieder, bei welcher eine vollständige Agglutination eingetreten ist, wird durch Filtrieren bestimmt. Dabei spielt die Qualität des Filters eine gewisse Rolle. Ich habe Filtra a 7 cm, mit HCl und HFl behandelt, benutzt. Das Filter darf nicht mit Wasser befeuchtet werden.

Die Blutkörperchen in der Kontrollflüssigkeit, sowie in den schwächsten Lösungen gehen durch das Filter. In den folgenden Konzentrationen gehen einige Erythrozyten durch, während andere im Filter blieben. Das so erhaltene Filtrat ist also trübe. Die noch stärkeren Lösungen geben dagegen ganz wasserhelle Filtrate. Die niedrigste dieser letztgenannten Konzentrationen entspricht der zweiten oder der s. g. Filtergrenze.

In der Mehrzahl der Fälle zeigt sich diese Filtergrenze etwas höher liegend, als die Augengrenze.

Schliesslich kann man die dritte oder die s. g. Reaktionsgrenze feststellen. Diese entspricht derjenigen Konzentration, in deren Filtrat man mit einem für das betreffende Salz typischen Reagenz das Salz nicht nachweisen kann. Diese Konzentration ist gewöhnlich noch etwas höher als diejenige, welche der Filtergrenze entspricht.

Bei der Bestimmung der adstringierenden Schlussreaktion hat man also zwischen drei verschiedenen Grenzwerten zu wählen.

Eine grössere Anzahl von Versuchen pro exercitio zeigte, dass man die Augengrenze leicht bestimmen kann, dass sie aber nicht

vollkommen scharf ist, sondern manchmal von der Objektivität des Beobachters beruht. Um diese eventuelle Fehlerquelle auszuschliessen, wählt man am besten die Filtergrenze, die nach meiner Erfahrung vollkommen typisch und sicher ist.

Sämmtliche im folgenden angegebenen Zahlen beziehen sich also nur auf die Filtergrenze.

Da die adstringierenden Wirkungen der Metallsalze auf die Erythrozyten des Hammels nicht bekannt sind, ist es von Interesse eine Serie derartiger, gleichzeitig ausgeführter Versuche mitzuteilen.

Tabelle 2. *Die Einwirkung auf die Erythrozyten des Hammels (Filtergrenzen)* [1].

Salze	Konzentration Normallösung	15 Min.	1 St.	5 St.	10 St.
Kaliumchlorid . . .	0.067–0.536	—	—	—	Unbedeut. Aggl.
Kaliumchlorat. . . .	0.04–0.407	—	—	—	Keine Aggl.
Kaliumpermanganat	0.0005–0.016	—	—	—	» »
Natriumborat	0.013–0.208	—	—	—	» »
Zinksulfat	0.00026	0	Anf. Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00013**	0	» »	$^3/_4$ »	Grenze
»	0.000066	0	» »	Anf. »	=Kontrolle
Quecksilberchlorid .	0.0093	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.0046**	Anf. »	$^1/_2$ »	$^3/_4$ »	Grenze
»	0.0023	0	Anf. »	Anf. »	=Kontrolle
Kupfersulfat	0.00016	$^1/_2$ Aggl.	$^1/_2$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00008**	Anf. »	Anf. »	$^1/_2$ »	Grenze
»	0.00004	0	0	Anf. »	=Kontrolle
Silbernitrat	0.0009	0	Gute Aggl.	Gute Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00046**	0	» »	» »	Grenze
»	0.00023	0	0	Anf. »	=Kontrolle
Bleiazetat	0.00165	$^1/_2$ Aggl.	$^1/_2$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.0008**	Anf. »	Anf. »	$^3/_4$ »	Grenze
»	0.0004	0	0	Anf. »	=Kontrolle

[1] Sämtliche Zahlen beziehen sich auf 5 ccm Flüssigkeit.

Salze	Konzentration Normallösung	15 Min.	1 St.	5 St.	10 St.
Eisenchlorid	0.00072	$^3/_4$ Aggl.	$^3/_4$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00036**	0	0	$^3/_4$ »	Grenze
»	0.00018	0	0	Anf. »	=Kontrolle
Kaliumferrozyanid .	0.0023–0.071	—	—	—	Keine Aggl.
Ferrosulfat	0.00028	0	$^3/_4$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00014**	0	$^1/_2$ »	$^1/_1$ »	Grenze
»	0.00007	0	0	Anf. »	=Kontrolle
Aluminiumchlorat .	0.00042	0	0	$^1/_2$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00021**	0	0	$^1/_2$ »	Grenze
»	0.0001	0	0	Anf. »	=Kontrolle
Alaun	0.0007	Anf. Aggl.	Gute Aggl.	$^1/_1$ Aggl.	$^1/_1$ Aggl.
»	**0.00035**	» »	» »	$^1/_1$ »	Grenze
»	0.00018	0	0	Anf. »	=Kontrolle

Für die Chloride und Chlorate der Alkalimetalle sowie für Kaliumferrozyanid wird die Reaktion negativ.

Die übrigen Metallsalze verhalten sich ganz verschieden hinsichtlich der Geschwindigkeit, mit welcher die Agglutination eintritt. In Lösungen stärkerer Konzentration kann man häufig schon innerhalb einiger Minuten eine Zusammenballung der Blutkörperchen beobachten, so dass sie sich in Form von dunkelroten Massen auf den Boden der Gefässe absetzen.

Auch in solchen Lösungen, deren Konzentration sich der adstringierenden Grenze nähert, konnte man bei Quecksilberchlorid, Kupfersulfat, Bleiazetat und Eisenchlorid sehr bald die Agglutination sehen.

Koberts Rat, nur sechs verschiedene Konzentrationen bei der Prüfung zu wählen, eignet sich wohl für die Bestimmung von Drogen, deren Gerbsäuregehalt man ungefähr kennt. Untersucht man dagegen unbekannte Metallverbindungen, so ist es vorzuziehen, von Anfang an möglichst viele Konzentrationen auf einmal zu bereiten, da man sonst riskiert, die adstringierende Grenze nicht zu finden, oder die Versuche noch einmal ausführen zu müssen.

Die Grenzwerte treten beim Vergleich mit der Kontrollprobe vollkommen scharf hervor, und deswegen besitzt die Methode viele Vorzüge vor den anderen, die bei der Prüfung von Adstringentien benutzt werden.

II. Die Einwirkung auf das Ovarium des Frosches.

Wegen der Eigenschaft der Adstringentien, das Froschovarium zur Schrumpfung zu bringen, hat Heinz eine einfache Methode ausgearbeitet. Untersuchungen dieser Art sind früher nicht gemacht und die Methode ist noch nicht publiziert worden.

Methodik. Man schneïdet vom Froschovarium Stücke, die etwa 0,2 g wiegen und behandelt sie mit 0,6 % NaCl-Lösung so lange, bis sie quellen.

Kleine Erlenmeyer-Kölbchen werden mit je 10 ccm der adstringierenden Lösungen verschiedener Konzentration versetzt und in jedes Kölbchen kommt ein Stückchen Ovarium. Zur Kontrolle nimmt man noch ein Kölbchen, das nur 10 ccm Wasser mit einem Stückchen Ovarium enthält. Die Kölbchen werden nun in den Termostat von 37° C gestellt und nach resp. 24,48 und 72 Stunden beobachtet.

Man findet dabei das Ovarium in der Kontrollprobe, sowie in den schwächeren Lösungen unverändert. Von einer gewissen Grenze an ist aber eine Volumenverminderung des Ovariums eingetreten, welche der Ausdruck der adstringierenden Wirkung ist.

Tabelle 3. *Die adstringierenden Grenzen für das Froschovarium, nach 72 Stunden bestimmt.*

Kaliumchlorid	Keine Reaktion. In Normallösungen von 0.402 nach oben wird das Ovarium gelöst.
Kaliumchlorat	Keine Reaktion.
Kaliumpermanganat	0.0079 Normallös. = Adstr. Grenze.
Natriumborat	0.156 » » »
Nafriumchlorid	Keine Reaktion. In Normallösungen von 0.51 nach oben wird das Ovarium teilweise gelöst.
Natriumchlorat	Keine Reaktion.
Borsäure	0.3228 Normallös. = Adstr. Grenze.
Zinksulfat	0.0085 » » »
Quecksilberchlorid	0.0093 » » »
Quecksilberzyanid	0.0097 » » »
Kupfersulfat	0.08 » » »
Silbernitrat	0.0074 » » »
Bleiazetat	0.0066 » » »
Eisenchlorid	0.0026 » » »

Kaliumferrozyanid	Keine Reaktion.
Kaliumferrizyanid	Keine Reaktion. In Normallösungen von 0.00018 bis 0.182 wird das Ovarium teilweise gelöst.
Ferrosulfat	0.0045 Normallös. = Adstr. Grenze.
Aluminiumchlorat	0.027 » » »
Alaun	0.021 » » »

Auch nach dieser Methode reagieren die Alkalichloride und Alkalichlorate, sowie Kaliumferri- und Kaliumferrozyanid nicht. In stärkeren Lösungen der Chloride wird das Ovarium teilweise gelöst.

Bei den übrigen Metallsalzen lässt sich die adstringierende Grenze wohl feststellen, nicht aber immer mit wünschenswerter Schärfe, weil sich eine geringe Schrumpfung nicht gut bestimmen lässt. Um diesem Nachteil abzuhelfen, habe ich das Ovarium in offenen Röhrchen von bekannter Länge quellen lassen, um die Schrumpfung in den Röhrchen messen zu können. Die Resultate waren aber nicht deutlich genug.

Auch wenn man versucht, gequollene Ovariumstücke in Glasschälchen, die auf ein Papier mit Quadrat-millimeter-Einteilung gelegt werden, zu messen, lässt sich die von dem Adstringens hervorgerufene Schrumpfung nicht genau bestimmen.

Für quantitative Zwecke ist die Methode deswegen nicht hinreichend genau.

III. Die Einwirkung auf das normale Froschmesenterium.

Rosenstirn (1876) hat zuerst Studien über die Einwirkung einiger Adstringentien auf die Blutgefässe des Froschmesenteriums angestellt.

Er untersuchte u. a. Lösungen von Alaun (10 %), Silbernitrat (3—10 %), Bleiazetat (50 %) und Eisenchlorid (50 %) und fand, dass Silbernitrat und Bleiazetat eine Zusammenziehung der Gefässe des Mesenteriums bewirkten. Dabei wurde die Zirkulation schon im Anfang der Versuche verlangsamt und das Blut fing an zu gerinnen, wodurch das Mesenterium ein trübes Aussehen bekam.

Ungefähr zu denselben Resultaten kam auch Fikentscher (1877).

Die von diesen Forschern angewandten Lösungen waren indessen so stark, dass die von ihnen beobachteten Veränderungen

des Mesenteriums nicht mehr ein Ausdruck der adstringierenden, sondern der ätzenden Wirkung der betreffenden Salze waren.

Im Jahre 1889 untersuchte Heinz dieselben Metallsalze in so verdünnten Lösungen, wie sie in der Praxis tatsächlich vorkommen, und wies nach, dass schwächere Lösungen von Tannin und einigen Metallsalzen eine Zusammenziehung der Gefässe des Mesenteriums zur Folge haben, während die Gefässe von stärkeren Konzentrationen im Gegenteil erweitert werden. Bei der Anwendung sehr starker Lösungen war die primäre Gefässverengerung von so kurzer Dauer, dass sie nur durch sehr genaue Beobachtung überhaupt konstatiert werden konnte. In kurzer Zeit trat nämlich Stagnation der Zirkulation und Trübung des Mesenteriums ein.

Methodik. Um mein Versuchsmaterial auf das Froschmesenterium zu prüfen, habe ich die technische Methode von Heinz benutzt.

Mit der adstringierenden Grenze wird die niedrigste Konzentration der betreffenden Metallsalzlösung bezeichnet, die noch eine deutliche Zusammenziehung der Gefässe verursachte.

Bei der Ausführung solcher Versuche ist es am wichtigsten dafür zu sorgen, dass die Zirkulationsverhältnisse im Anfang der Versuche vollkommen normal sind. Bei der Immobilisierung der Frösche darf man daher nicht, wie einige Forscher gemacht haben, solche Mittel anwenden, die auf die Zirkulation einwirken, wie z. B. Kurare.

Ich habe die Versuche in folgender Weise ausgeführt.

Der Frosch wird zunächst enthirnt, die Plexus ischiadici durchschnitten und die vorderen Extremiteten mit feinen Stahlnadeln an einem passenden Stück Linoleum fixiert. Am Rande des Linoleums ist eine Öffnung geschnitten, in welcher ein durchbohrter Kork sich befindet.

Das Mesenterium wird über dem Kork in der Weise präpariert, dass es nicht gedreht, sondern ganz frei liegt.

Um das Präparat vor Austrocknen zu schützen, appliziert man auf den Bauch des Frosches ein trianguläres Stück Fliesspapier, so dass eine Spitze des Papiers die Basis des Mesenteriums berührt. Das Papier wird mit 0,6 % NaCl-Lösung kontinuerlich befeuchtet.

Das Linoleum mit dem Präparat wird im Mikroskop so eingestellt, dass die Öffnung mit dem Mesenterium sich unter dem Objektiv befindet. Das Okular muss mit einer Messvorrichtung versehen sein. Man sucht nun eine solche Stelle des Präparates auf, dass man gleichzeitig eine Arterie, eine Vene und einige Kapillaren beobachten kann und sieht zu, dass die Lumina der Gefässe durch zwei Linien der Skala begrenzt sind.

Nachdem das Präparat mit NaCl-Lösung befeuchtet worden ist, vergewissert man sich darüber, dass die Zirkulation vollkommen unbehindert vor sich geht, wonach der Versuch beginnen kann.

Man fängt mit schwächeren Lösungen an und steigt allmählig nach oben. In dieser Weise stellt man die Grenzkonzentration fest, die eine deutliche Zusammenziehung der Gefässe verursacht.

Tabelle 4. *Die adstringierenden Grenzen für das normale Froschmesenterium.*

Zinksulfat	0.00053	Normallös.
Quecksilberchlorid	0.00058	»
Quecksilberzyanid	0.0006	»
Kupfersulfat	0.005	»
Silbernitrat	0.0009	»
Bleiazetat	0.0008	»
Eisenchlorid	0.012	»
Kaliumferrozyanid	0.142	»
Ferrosulfat	0.0023	»
Aluminiumchlorat	0.0068	»
Alaun	0.0053	»

Bei der Anwendung solcher Lösungen, deren Konzentration die oben angegebenen Werte übersteigt. kann man beobachten, dass die Lumina der Gefässe nach einem momentanen Stadium der Zusammenziehung deutlich erweitert werden.

Diese neuen Grenzwerte, die nicht mehr ein Ausdruck für die adstringierende Wirkung der untersuchten Salze sind, waren für

Zinksulfat	0.069	Normallös.
Quecksilberchlorid	0.0092	»
Quecksilberzyanid	0.0098	»
Kupfersulfat	0.08	»
Bleiazetat	0.053	»
Eisenchlorid	0.185	»
Eisensulfat	0.036	»
Aluminiumchlorat	0.108	»
Alaun	0.084	»

Bei der Variation der Konzentration der Lösungen konnte man weiter die Beobachtung machen, dass einige Metallsalze, wie

Zinksulfat	0.0085	Normallös.
Bleiazetat	0.0132	»

eine so starke Kontraktion der Arterienwände verursachten, dass ihre Lumina ganz verschwanden.

Durch die Einwirkung von noch stärkeren Lösungen hört die Zirkulation in den Kapillaren auf und das Mesenterium wird trübe.

Eine ganz besondere Stellung nimmt das Silbernitrat ein. Die Zusammenziehung der Gefässe fängt bei einer Konzentration vnn 0,0009 Normallös. an und nimmt bei stärkeren Lösungen immer noch zu. Eine sekundäre Erweiterung der Gefässe, die man bei anderen Metallsalzen beobachten konnte, liess sich hier nicht nachweisen. Von einer 0,059 Normallösung an stagniert die Zirkulation, und das Mesenterium wird trübe.

IV. Die Einwirkung auf das entzündete Froschmesenterium.

Die Entzündung des Froschmesenteriums äussert sich in der Weise, dass die Lumina der Arterien und Venen zunehmen, während die Geschwindigkeit der Zirkulation abnimmt. Die Leukozyten bewegen sich zu den Wänden der Arterien und Venen, durch welche sie später austreten.

Um auf experimentellem Wege eine Entzündung hervorzurufen, kann man sich verschiedener Methoden bedienen.

Am einfachsten ist es das Mesenterium mit einer 0,1 % Sublimatlösung zu befeuchten, die nach eingetretener Entzündung mit Wasser weggespühlt wird (Heinz).

Man fängt mit schwachen Lösungen der adstringierenden Salze an, und steigt allmählig nach oben.

Die adstringierende Wirkung äussert sich in der Veränderung der Lumina der Gefässe und in dem Verhalten der Leukozyten.

Im Gegensatz zu der durch die Entzündung hervorgerufenen Erweiterung der Gefässe, tritt nun eine Verengerung der Arterien und Venen ein. Die Leukozyten, welche sich früher gegen die Peripherie der Gefässe bewegten, wandern nun in der Richtung zum Centrum. Sie senden keine Ausläufer mehr durch die Wände der Venen und ein Austreten findet nicht mehr statt. Leukozyten, die

schon aus den Venen und Kapillaren ausgetreten waren und dabei eine polymorphe Form angenommen hatten, nehmen wieder die runde Form an.

Bei der Bestimmung der adstringierenden Grenze fängt man wieder mit den schwächeren Lösungen an, die noch ein negatives Resultat geben, und sucht diejenige Konzentration aus, bei welcher die oben erwähnte Wirkung des adstringierenden Mittels zu konstatieren ist.

Tabelle 5. *Die adstringierenden Grenzen für das entzündete Froschmesenterium.*

Zinksulfat	0.0085 Normallös.
Quecksilberchlorid	0.00029 »
Quecksilberzyanid	0.0003 »
Kupfersulfat	0.01 »
Silbernitrat	0.00022 »
Bleiazetat	0.0066 »
Eisenchlorid	0.023 »
Kaliumferrozyanid	0.142 »
Ferrosulfat	0.009 »
Aluminiumchlorat	0.0135 »
Alaun	0.0106 »

Wendet man etwas stärkere, als die eben genannten Konzentrationen an, so wirken die Metallsalze als schwache Ätzmittel. Diese Wirkungen äussern sich darin, dass der Entzündungsprocess wieder zunimmt. In noch stärkeren Lösungen wirken die Mittel schon deletär auf das betreffende Mesenterium.

V. Die Einwirkung auf die Hautsekretion des Frosches.

Da die Adstringentien eine deutliche Sekretionsverminderung in den Drüsen der Froschhaut verursachen, hat Schütz eine Methode ausgearbeitet, nach welcher man quantitativ die Wirkungen der adstringierenden Mittel bestimmen kann.

Ich habe in dieser Methodik kleine Modifikationen vorgenommen und bin in folgender Weise verfahren.

Temporarien von 30 g Gewicht wurden serienweise, den Bauch nach oben, mit feinen Stahlnadeln an einem Stück Linoleum befestigt. Die Haut der Brust und des Bauches wurde mit Leinwand gut getrocknet und die linke Hälfte mit der zu untersuchenden Lösung mittelst eines Pinsels gleichmässig bestrichen. Nach 10 Min. wurde mit destilliertem Wasser gut abgespült, mit Filtrierpapier mehrere Mal abgetrocknet, wonach die Frösche in einen kleinen Schrank gebracht wurden, auf dessen Boden ein Gefäss mit warmem Wasser gestellt war. Nach einer gewissen Zeit fängt die normale Sekretion an der nicht behandelten Seite an, während die mit dem Adstringens behandelten Seite etwas trockener erscheint. Dabei sieht man, besonders bei den Lösungen etwas stärkerer Konzentration, einen deutlichen Unterschied zwischen der rechten und der linken Seite.

Diese adstringierenden Wirkungen treten sowohl an intakten Tieren, als auch nach der Durchschneidung der Nerven oder nach der Ausschaltung der Zirkulation hervor.

Bei der mikroskopischen Untersuchung sieht man, dass die Metallsalze bis in die Drüsenzellen eingedrungen sind.

Als adstringierende Grenze kann man die niedrigste Konzentration des Mittels ansehen, die noch eine deutliche Sekretionshemmung ausübt.

Tabelle 6. *Die adstringierenden Grenzen für die Froschhaut.*

Zinksulfat	0.017 Normallös.
Quecksilberchlorid	0.00058 »
Quecksilberzyanid	0.0006 »
Kupfersulfat	0.02 »
Silbernitrat	0.00045 »
Bleiazetat	0.013 »
Eisenchlorid	0.046 »
Ferrosulfat	0.018 »
Aluminiumchlorat	0.027 »
Alaun	0.021 »

VI. Die Einwirkung auf den Geschmack.

Die adstringierenden Mittef besitzen wie bekannt einen ganz spezifischen Geschmack. Es war deshalb von grossem Interesse zu prüfen, in wie fern man durch den Geschmack ihre Wirkung in quantitativer Beziehung schätzen kann.

Zu diesem Zweck versuchte ich zunächst selbst die adstringierenden Grenzen, d. h. die niedrigsten Konzentrationen der Salzlösungen, bei welchen man noch den typischen Geschmack empfinden konnte, zu bestimmen. Der Kontrolle wegen veranlasste ich noch drei verschiedene Versuchspersonen mittelst Alaunlösung den adstringierenden Geschmack kennen zu lernen. Die Versuchspersonen fingen mit Wasser an, dann folgten die schwächeren Lösungen, bei welchen man noch keinen adstringierenden Geschmack spüren konnte, und dann allmählig immer stärkere Lösungen bis zu der Konzentration, bei welcher die Versuchspersonen den deutlichen adstringierenden Geschmack empfanden.

Bei solchen Versuchen ist es natürlich wichtig, immer eine gewisse Pause zwischen den Versuchen zu machen, und den Mund ab und zu auszuspülen. Auch darf man nicht die Versuche in einer ununterbrochenen Reihenfolge fortsetzen.

Um die Zuverlässigkeit der Versuchspersonen noch zu kontrollieren, folgten die Lösungen nicht sukzessive nach einander, sondern nach einer stärkeren Lösung folgte manchmal eine schwächere, beziehungsweise Wasser. Die Versuchspersonen zeigten aber dabei eine ausgezeichnete Sicherkeit, besonders nach einiger Übung. Dieser Umstand beweist, dass diese scheinbar banale Methode doch in praktischer Hinsicht nicht ohne Bedeutung ist.

Sämmtliche Versuchspersonen gaben folgende Zahlen als adstringierende Grenzkonzentrationen an.

Tabelle 7. *Die adstringierenden Grenzen nach dem Geschmack.*

Zinksulfat	0.00053 Normallös.
Kupfersulfat	0.0006 »
Silbernitrat	0.00045 »
Bleiazetat	0.0008 »

Eisenchlorid	0.0058 Normallös.
Ferrosulfat	0.009 »
Aluminiumchlorat	0.0068 »
Alaun	0.0027 »

VII. Die Einwirkung auf die Schleimhut der Nase.

Auch auf der Schleimhaut der Nase spürt man deutlich die adstringierende Wirkung.

Die Versuche wurden in der Weise vorgenommen, dass die adstringierenden Lösungen mittelst einer Tropfpipette in die Nase eingespritzt wurden. Das Gefühl auf der Schleimhaut der Nase ist aber nicht so deutlich, wie das des Geschmacks. Die Versuchspersonen gaben nicht immer dieselben Werte an.

Im Mittel können jedoch folgende Grenzwerte angegeben werden.

Tabelle 8. *Die adstringierenden Grenzen für die Schleimhaut der Nase.*

Zinksulfat	0.001 Normallös.
Kupfersulfat	0.0025 »
Silbernitrat	0.0018 »
Bleiazetat	0.0066 »
Eisenchlorid	0.023 »
Ferrosulfat	0.036 »
Aluminiumchlorat	0.0135 »
Alaun	0.0106 »

Kritik und Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.

Um die Versuchsergebnisse besser beurteilen und mit einander vergleichen zu können, sind dieselben in folgender Generaltabelle zusammengestellt.

Generaltabelle.

Die adstringierenden Grenzen nach den geprüften Methoden.

Salze	Meth. I Erythrozyt. des Hammels [1]	Meth. II Frosch-Ovarium	Meth. III Normal. Frosch. Mesenter.	Meth. IV Entzünd. Frosch-Mesenter.	Meth. V Haut-Sekretion d. Frosches	Meth. VI Geschmack	Meth. VII Schleimhaut der Nase
Zinksulfat	0.00013	0.0085	0.00053	0.0085	0.017	0.00053	0.001
Quecksilberchlorid	0.0046	0.0093	0.00058	0.00029	0.00058	—	—
Quecksilberzyanid	—	0.0097	0.0006	0.0003	0.0006	—	—
Kupfersulfat	0.00008	0.08	0.005	0.01	0.02	0.0006	0.0025
Silbernitrat	0.00046	0.0074	0.0009	0.00022	0.00045	0.00045	0.0018
Bleiazetat	0.0008	0.0066	0.0008	0.0066	0.013	0.0008	0.0066
Eisenchlorid	0.00036	0.0026	0.012	0.023	0.046	0.0058	0.023
Ferrosulfat	0.00014	0.0045	0.0023	0.009	0.018	0.009	0.036
Aluminiumchlorat	0.00021	0.027	0.0068	0.0135	0.027	0.0068	0.0135
Alaun	0.00035	0.021	0.0053	0.0106	0.021	0.0027	0.0106

1. *Die adstringierenden Grenzen für die verschiedenen Metallsalze nach derselben Methode geprüft.*

Wenn wir zunächst die am stärksten, am schwächsten und ebenso stark wirkenden Salze betrachten, so finden wir folgendes:

Methode I. *Erythrozyten des Hammels.*

Am stärksten wirkt $CuSO_4$ 0,00008, am schwächsten $HgCl_2$ 0,0046.

Alaun 0,00035 und $FeCl_3$ 0,00036 sind ebenso stark.

Methode II. *Froschovarium.*

Am stärksten wirkt $FeCl_3$ 0,0026, am schwächsten $CuSO_4$ 0,08, ebenso stark sind $HgCl_2$ 0,0093 und $HgCy_2$ 0,0097, sowie Aluminiumchlorat 0,027 und Alaun 0,021.

[1] Als 0.1 ccm Blutkörperchensuspension auf 5 ccm Flüssigkeit berechnet.

Methode III. *Normales Froschmesenterium.*
Am stärksten wirkt $ZnSO_4$ 0,00053, am schwächsten $FeCl_3$ 0,012.

Methode IV. *Entzündetes Froschmesenterium.*
Am stärksten wirken $HgCl_2$ 0,00029 und $HgCy_2$ 0,0003, am schwächsten $FeCl_3$ 0,023, ebenso stark sind $CuSO_4$ 0,01, Alaun 0,0106 und Aluminiumchlorat 0,0135.

Methode V. *Hautsekretion des Frosches.*
Am stärksten wirkt $AgNO_3$ 0,00045, am schwächsten $FeCl_3$ 0,046, ebenso stark sind $HgCl_2$ 0,00058 und $HgCy_2$ 0,0006, sowie Alaun 0,021 und Aluminiumchlorat 0,027.

Methode VI. *Geschmack.*
Am stärksten wirkt $AgNO_3$ 0,00045, am schwächsten Alaun 0,0027.

Methode VII. *Schleimhaut der Nase.*
Am stärksten wirken $ZnSO_4$ 0,001 und $AgNO_3$ 0,0018, am schwächsten $FeSO_4$ 0,036. Alaun 0,0106 und Aluminiumchlorat 0,0135 sind ebenso stark.

Wir sehen also zunächst, dass es kein einziges Salz gibt, das nach jeder Methode geprüft, immer am stärksten oder am schwächsten gewirkt hätte, sondern die Salze verhalten sich in bezug auf ihre adstringierende Stärke ganz verschieden auf die geprüften Tierorgane, resp. den Geschmack oder die Schleimhaut der Nase.

Nur in gewissen Fällen sind die adstringierenden Grenzen ungefähr gleich gross, wie z. B.

für $HgCl_2$ 0,0093 und für $HgCy_2$ 0,0097 nach der Methode II,
» » 0,00029 » » » 0,0003 » » » IV,

» Aluminiumchlorat 0,027 und für Alaun 0,021 nach der Methode II u. V,
» » 0,0135 » » » 0,0106 » » » IV u. VII.

Daraus geht hervor, dass einige Verbindungen, die in chemischer Beziehung verwandt sind, ungefähr dieselben adstringierenden Grenzwerte haben.

2. *Die adstringierenden Grenzen für ein und dasselbe Salz nach verschiedenen Methoden geprüft.*

Aus der Generaltabelle sehen wir, dass die adstringierenden Grenzen für

$ZnSO_4$	= 0,0085	nach der Methode II u. IV,
»	= 0,00053	» » » III u. VI,
$HgCl_2$	= 0,00058	» » » III u. V,
$HgCy_2$	= 0,0006	» » » III u. V,
$AgNO_3$	= 0,00045	» » » V u. VI,
$Pb(C_2H_3O_2)_2$	= 0,0008	» » III u. VI,
»	= 0,0066	» » II, IV u. VII,
$FeSO_4$	= 0,009	» » » IV u. VI,
$Al_2(ClO_3)_6$	= 0,0027	» » II u. V,
»	= 0,0068	» » III u. VI,
Alaun	= 0,021	» » » II u. V,
»	= 0,0106	» » » IV u. VII.

Viele von den untersuchten Salzen zeigen also in der Hinsicht gute Übereinstimmung, dass sie, nach mehreren Methoden geprüft, dieselben adstringierenden Grenzwerte geben.

Aus dem obigen ergibt sich, dass die adstringierenden Grenzwerte, die man nach den verschiedenen Methoden erhält, nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar sind.

Wenn man weiter bedenkt, dass es sich bei der Bestimmung dieser Grenzen immer nur um winzig kleine Gewichtsmengen der adstringierenden Mittel handelt und dass einige Methoden, wie z. B. die serologische, in welcher Hammelblutkörperchen zur Verwendung kommen, drei verschiedene Grenzwerte geben, so geht daraus hervor, dass die adstringierenden Mittel in bezug auf ihre Wirkungen ungemein empfindlich sind.

Bei der Bestimmung der Stärke der adstringierenden Mittel in quantitativer Hinsicht muss man daher immer nur eine und dieselbe Methode benutzen.

3. *Der wissenschaftliche und der praktische Wert der untersuchten Methoden.*

Für die Beurteilung des Wertes der geprüften Methoden, müssen verschiedene Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Sucht man die adstringierende Wirkung eines Mittels dadurch zu bestimmen, dass man die adstringierende Lösung in die Nase einträufelt (Methode VII), so erhält man nicht immer genau dieselben Grenzwerte, weshalb die Methode als weniger zuverlässig zu bezeichnen ist.

Auch die Methode, die adstringierende Wirkung, besonders quantitativ, durch die Schrumpfung des Froschovariums (Methode II) bestimmen zu wollen, ist keine genaue, weil es sehr schwierig ist, besonders eine geringfügige Schrumpfung sicher zu beurteilen. Deswegen werden die so erhaltenen Werte nur approximativ sein.

Sicherere Werte erhält man, wenn man das normale oder entzündete Froschmesenterium als Versuchsobjekt benutzt (Methode III und IV), Die technische Ausführung derartiger Versuche nimmt aber viel Zeit in Anspruch und diese Methoden dürften deswegen für wissenschaftliche Untersuchungen reserviert bleiben, besonders wenn es sich darum handelt, die Wirkungen der Adstringentien auf das Blut oder die Zirkulation zu beobachten. Diese Methoden sind deswegen besonders für experimentelle Demonstrationen bei Vorlesungen geeignet.

Dasselbe gilt auch für die Methode, die adstringierende Wirkung durch die Sekretionshemmung in den Drüsen der Froschhaut nachzuweisen (Methode V). Auch ist sie sehr zeitraubend und erfordert ein grosses Tiermaterial. Ausserdem gelingen die Versuche fast nur mit Temporarien und in der Sommerzeit. Für die Praxis ist diese Methode nicht zu empfehlen.

Wenn man schnell wissen will, ob ein unbekanntes Mittel überhaupt adstringierende Eigenschaften besitzt, ist es am einfachsten, eine Wasserlösung passender Konzentration darzustellen und dieselbe zu kosten (Methode VI).

Ausnahmsweise kann man wohl dabei Irrtümer begehen, denn es ist in gewissen Fällen schwierig zu beurteilen, ob eine Lösung nur bitterlich oder zugleich auch adstringierend schmeckt. Es gibt nämlich einzelne Pflanzendrogen und galenische Präparate, die ohne Adstringentien zu sein, einen etwas zusammenziehenden Geschmack besitzen. Auch bei gewissen Metallsalzen kann man sich in der Beziehung täuschen. Wenn man aber seinen Geschmack zunächst mit einer Alaunlösung einstellt, so kann man mit ziemlich grosser Sicherkeit entscheiden, ob eine Lösung zusammenziehend schmeckt.

Hat man sich darüber orientiert, dass eine Lösung sicher als adstringierend aufzufassen ist so lässt sich die adstringierende Grenze mit, einer für die Praxis genügenden Sicherkeit mittelst des Geschmacks schätzen.

Für wissenschaftliche und praktische Zwecke nimmt die Methode, die adstringierende Wirkung mit den roten Blutkörperchen des Hammels zu bestimmen, den ersten Platz ein (Methode I). Man kann dazu auch Menschenblut oder Erythrozyten von anderen Tierarten benutzen, nur muss man, um vergleichbare Werte zu erhalten, immer dasselbe Substrat anwenden.

Zwar ist die Versuchsanordnung dabei mit gewissen Vorbereitungen verknüpft, stehen aber Hammelblutkörperchen zur Verfügung und ist man für derartige Untersuchungen eingestellt und eingeübt, so sind sie sicher und schnell vorzunehmen.

Besonders für die quantitative Prüfung der adstringierenden Wirkung neuer Arzneimittel bezeichnet diese Methode einen grossen Fortschritt in der experimentell-pharmakologischen Technik.

Literatur.

Fikentscher, Über die Wirkung der Adstringentien. Dissertation. Erlangen 1877.

Heinz, Handbuch der experimentellen Pathologie und Pharmakologie. Bd 1, 1904. S. 118.

» Die Wirkung der Adstringentien. Virchows Archiv. Bd 116, 1889. S. 220.

Kobert, Über die Bewertung der Adstringentien mit Hilfe von Blutkörperchen. Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden (Abderhalden). Bd 9, 1919. S. 24.

» Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturforschergesellschaft zu Rostock, N. F. Bd 6, 1915. S. 281.

» Lehrbuch der Pharmakotherapie. 2 Aufl. 1908.

Rosenstirn, Untersuchungen über die örtliche Einwirkung der sogenannten Adstringentien auf die Gefässe. Rossbachs pharmakologische Untersuchungen. Bd 3, 1876.

Schütz, Über die sekretionshemmende und sekretionsfördernde Wirkung. Archiv für exper. Pathologie und Pharmakologie. Bd 27, 1890. S. 202.

SKANDINAVISCHES
ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. E. A. HOMÉN IN HELSINGFORS, PROF. DR. V. HENRIQUES UND PROF. DR. AUG. KROGH IN KOPENHAGEN, PROF. DR. T. THUNBERG IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON, PROF. DR. S. JOLIN, PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. GUSTAF GÖTHLIN, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPSALA

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

NEUNUNDDREISSIGSTER BAND.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT.



BERLIN UND LEIPZIG 1920

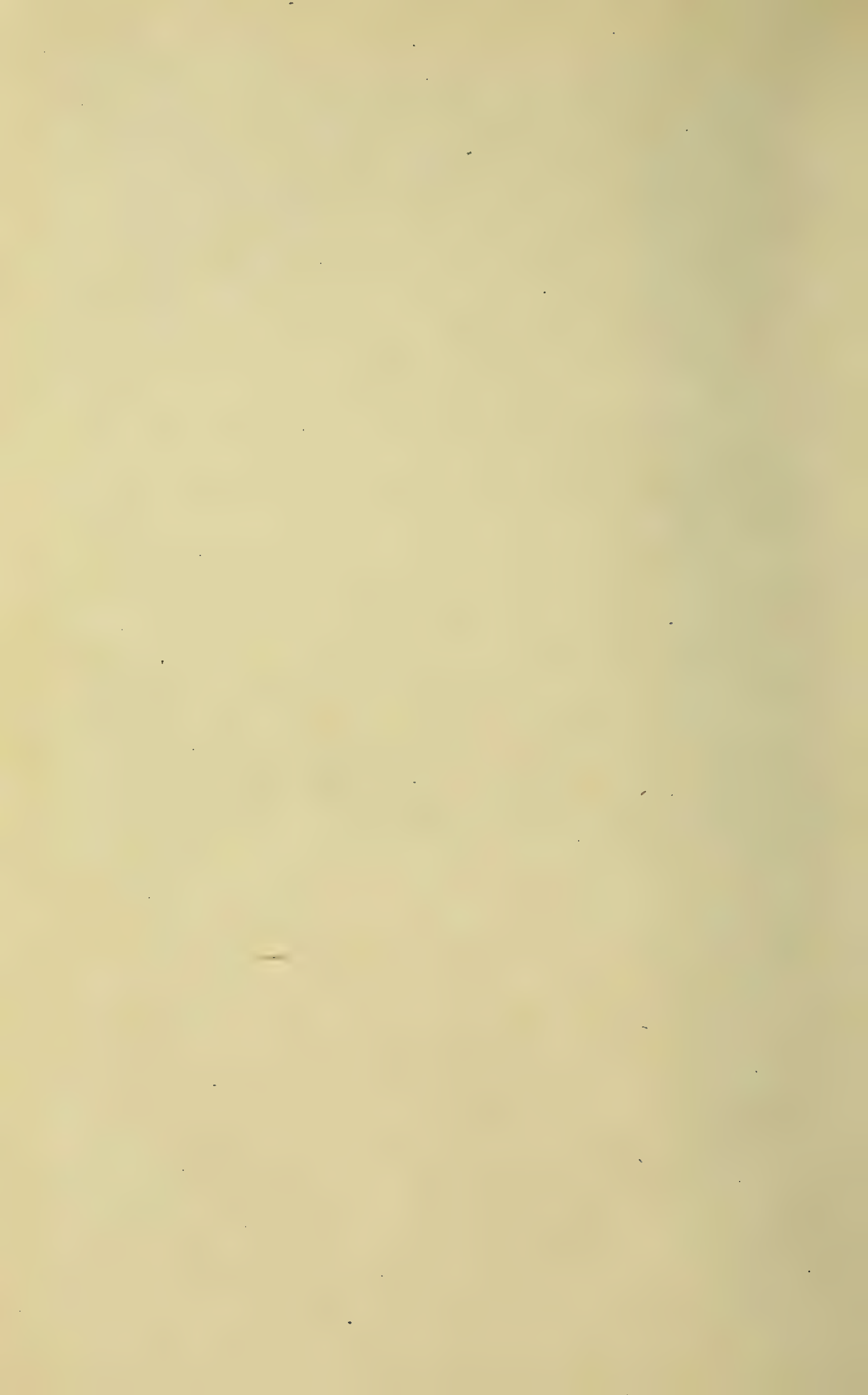
VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER

WALTER DE GRUYTER & CO.

VORMALS G. J. GÖSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG :: J. GUTTENTAG, VERLAGSBUCHHANDLUNG :: GEORG REIMER :: KARL J. TRÜBNER :: VEIT & COMP.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.



Studien über die Physiologie des Schwimmens.[1]

Von

G. Liljestrand und N. Stenström.

(Aus dem Physiologischen Laboratorium des Karolinischen Medico-chirurgischen Instituts Stockholm und der Zoologischen Station Kristineberg, Bohuslän.)

Inhaltsverzeichnis. —

Einleitung.

Es dürfte einleuchtend sein, daß die nähere Kenntnis des Verhaltens unseres Körpers bei verschiedenen Körperbewegungen in hohem Grade wünschenswert ist. Im täglichen Leben spielen diese ja eine sehr wichtige Rolle; begegnet man ihnen doch in mannigfaltigen Formen bei der Arbeit, im Spiel und in den sportlichen Leistungen („Idrott“). Von rein medizinischem Gesichtspunkte aus hat es offenbar hohen Wert, die Wirkung verschiedener Körperübungen auf den gesunden wie auch auf den kranken Organismus zu kennen. Inwieweit während besonderer Verhältnisse eine bestimmte Körperübung empfehlenswert

---

[1] Der Redaktion am 6. März 1918 zugegangen.

ist oder nicht, kann ohne eine verhältnismäßig genaue Kenntnis der speziellen Wirkungen eben dieser Übung kaum mit einiger Sicherheit angegeben werden. Die Frage über die physiologischen Wirkungen der Körperübungen steht offenbar in engem Zusammenhange mit einer Anzahl praktischer Fragen von großem Interesse, wie derjenigen von dem Nutzen der Körperübungen überhaupt, von der Bedeutung des Trainings usw. Von allgemein physiologischem Gesichtspunkte aus verdient es der Ergründung, wie sich der Organismus in diesen Fällen verhält, wenn die sehr wechselnden äußeren Verhältnisse allem Anscheine nach höchst ungleiche Anforderungen an die verschiedenen Organsysteme in verschiedenen Fällen stellen müssen.

Obgleich mehrere Formen von Körperbewegungen bei zahlreichen Gelegenheiten mehr oder weniger eingehend von physiologischen und medizinischen Gesichtspunkten aus untersucht und dadurch viele wichtige Beobachtungen gesammelt worden sind, dürfte dennoch nicht bestritten werden können, daß weitere Untersuchungen noch in hohem Grade wünschenswert sind. Trotz der Arbeit, die bis jetzt auf diesen Gebieten geleistet wurde, befindet sich wahrscheinlich die Forschung hier nur erst im Anfangsstadium. In der Tat zeigt sich schon bei flüchtigem Durchsehen der Literatur, daß in vielen Fällen unsere Kenntnisse von den Einwirkungen verschiedener Körperbewegungen auf den Organismus höchst unvollständig sind. Es ist nicht nur so, daß oft Widersprüche vorzukommen scheinen, sondern gewisse wichtige Fragen scheinen überhaupt kaum oder doch nur sehr unvollständig untersucht worden zu sein. Während z. B. der respiratorische Gaswechsel, der zweifelsohne vom energetischen Gesichtspunkte aus äußerst bedeutungsvolle Aufklärungen gibt, für gewisse Arbeitsformen — wir erwähnen Geharbeit, Radfahren, Bergwanderungen — eingehend studiert wurde, scheint er betreffs vieler anderer Körperübungen bis jetzt nur höchst unbedeutend untersucht worden zu sein. Wir haben deshalb geplant, Untersuchungen auf diesen Punkt anzustellen.

In der vorliegenden Arbeit beschäftigen wir uns speziell mit dem respiratorischen Gaswechsel beim Schwimmen unter verschiedenen Verhältnissen. Gleichzeitig wurden auch einige andere Fragen Gegenstand des Studiums, so vor allem das Verhalten des Blutdruckes und der Pulsfrequenz während des Schwimmens; auch wird die Aufmerksamkeit auf die Größe der Atmungsarbeit beim Aufenthalt im Wasser gelenkt. Außerdem haben wir den Widerstand des Körpers im Wasser untersucht. Im folgenden werden diese Fragen gesondert behandelt.

Kapitel I.

Der respiratorische Gaswechsel beim Schwimmen.

1. Historik und Methodik.

Historisches. — Im Jahre 1905 hat R. du Bois-Reymond[1] einen Versuch gemacht, die Gesamtarbeit zu berechnen, die bei Brustschwimmen mäßiger Schnelligkeit („mäßige Schwimmarbeit", a. a. O. S. 274) ausgeführt wird. Für die wichtigeren Posten gibt er — unter Auslassen der weniger bedeutungsvollen — folgende abgerundeten Zahlen an: „nutzbare Arbeit" pro Meter 8 kgm, für den Stoß beider Beine 10, für ihr Anziehen 3 und für den Widerstand dabei und dessen Aufhebung 2 kgm. Insgesamt findet er also für jeden Schwimmstoß, wenn er die dazu entsprechende Schwimmstrecke von 1 m annimmt, eine Arbeit von 23 kgm und, da er weiter mit einem Schwimmstoß pro Sekunde zu rechnen scheint, 23 kgm pro Sekunde. Bei einem Nutzeffekt von etwa 30 Proz. und mit Berücksichtigung des Ruhewertes berechnet er in dieser Weise einen O_2-Verbrauch von etwa 2500 ccm pro Minute und nimmt weiter auf Grund eines Vergleichs mit den Versuchen von L. Zuntz bei schnellem Gehen an, daß die Ventilation mindestens 33 Liter pro Minute beträgt.

Es scheint uns offenbar, daß sich gegen diese Berechnung ziemlich viel einwenden läßt. Einige der Annahmen, die den oben angeführten abgerundeten Zahlen zugrunde liegen, müssen als sehr unsicher betrachtet werden. Dazu kommt noch, daß unserer Meinung nach eine Schnelligkeit von 60 m pro Minute und eine Frequenz der Schwimmstöße von 60 pro Minute beim Schwimmen nicht als „mäßige Schwimmarbeit" bezeichnet werden können. Eher dürften sie für viele als maximale Leistungen betrachtet werden können. Einige Seiten vorher führt auch du Bois-Reymond an, daß in zwei Versuchen mit mäßiger Anstrengung eine Schnelligkeit von 40 m in 54 Sekunden bzw. 20 m in 27 Sekunden (entsprechend 44·5 m pro Minute) erreicht wurde. Im allgemeinen dürfte eine Frequenz von 20 bis 30 Schwimmstößen pro Minute die gewöhnliche bei „mäßiger Anstrengung" sein (vgl. die gewöhnlichen Lehrbücher des Schwimmens!).

Direkte Beobachtungen — soviel wir wissen die einzigen, die bis jetzt während des Schwimmens ausgeführt wurden — über die Größe

[1] *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1905. Bd. XXIX. S. 252—278.

des respiratorischen Gaswechsels haben Zuntz, Loewy, Müller und Caspari[1] mitgeteilt. Sie haben mit der Zuntzschen Methodik vier kurzdauernde (1 bis 1·5 Minuten) Schwimmversuche mit Kolmer, „einem sehr guten und ausdauerndem Schwimmer", ausgeführt. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten Zahlen angegeben. Der zuletzt angeführte Versuch ist ein Ruheversuch im Wasser, der nach 5 Minuten Ruhe ausgeführt wurde.

Tabelle 1.

Versuch	Atomvolumen, Liter pro Minute 0°, 760 mm	CO_2-Abgabe ccm	O_2-Aufnahme ccm	$\frac{CO_2}{O_2}$
1	39·19	1712·5	2049·5	0·836
2	43·65	1776·5	2317·8	0·766
3	42·92	1755·3	2201·6	0·797
4	43·41	2092·3	2285·9	0·915
5	23·01	652·5	425·9	1·27

Die Verfasser schließen aus den Versuchen, daß kräftiges Schwimmen zu den energischsten Körperübungen gehört, indem der Stoffumsatz bei den Schwimmversuchen 18·5 Proz. größer gefunden wurde als bei raschem Bergaufgehen (Geschwindigkeit 42·6 m pro Minute, 640 m Höhendifferenz pro Stunde).

Leider werden keine näheren Angaben über die Geschwindigkeit beim Schwimmen gemacht; es dürfte wahrscheinlich sein, daß sie bedeutend gewesen ist. Deswegen dürfte es kaum richtig sein, die erwähnten Zahlen ohne weiteres als Maß des Umsatzes beim Schwimmen im allgemeinen zu gebrauchen, wie Loewy[2] es später tut.

Methodisches. — Sämtliche unserer Respirationsversuche wurden am Morgen in nüchternem Zustande, d. h. wenigstens 8 Stunden nach der nächstvorhergehenden Mahlzeit, ausgeführt. An den Versuchspersonen wurden gewöhnliche Ruheversuche über den respiratorischen Gaswechsel ausgeführt, da es von Interesse zu sein schien, ein Maß des Standardstoffwechsels zu erhalten. In der Regel wurde hierbei die Versuchsperson morgens früh geweckt und hatte dann in Rückenlage bei vorsätzlicher Muskelruhe im Bett zu bleiben, nachdem die Atmungswege mit Maske bzw. Mundstück und Nasenklemme nebst

[1] *Höhenklima und Bergwanderungen.* 1906. S. 263—268.

[2] Oppenheimers *Handbuch d. Biochemie.* 1911. Bd. IV. S. 252.

Ventil nach Bohr vereinigt worden waren. Ehe der Versuch begann, durften dann wenigstens 15 Minuten vergehen. Die Inspirationsluft wurde durch einen weiten Schlauch von außen genommen, die Exspirationsluft wurde durch einen Mischungsbehälter und Gasuhr geleitet. Während des Versuchs wurden Proben der Exspirationsluft aus dem Mischungsbehälter in kleinen Portionen in bestimmten Zeitintervallen genommen. (Mit Rücksicht auf die Details wird auf die Arbeiten von Krogh[1] bzw. Liljestrand[2] hingewiesen.) Im allgemeinen wurden drei Versuche von 5 Minuten Dauer unmittelbar nacheinander ausgeführt. Vor und nach den Versuchen wurde in der Regel die Pulsfrequenz ermittelt.

Bei den Schwimmversuchen haben wir etwas verschiedene Methoden gebraucht, je nachdem es sich um ganz kurzdauernde (1 bis 3 Minuten) bzw. etwas länger dauernde Versuche handelte. Im erstgenannten Falle — und diese Versuche sind die weitaus zahlreichsten — kam ein Douglassack[3] zur Verwendung. Der Schwimmer wurde also mit dem Douglasmundstück und Ventil vereinigt und die Nasenklemme angebracht. In gewöhnlicher Weise wurde dabei auf Dichte geprüft. In den Fällen mit Rückenschwimmen kam gewöhnlich ein Bohrsches Ventil mit Maske zur Verwendung, weil das Douglasventil während jener Verhältnisse — horizontaler Lage des Ventils, so daß die Schwere nicht beim Schließen der Klappen mitwirkte — nicht ganz zuverlässig erschien. (Bei den später mitzuteilenden Respirationsversuchen im III. Kapitel wurde ein Ventil nach Lovén[4] gebraucht; nach unserer Erfahrung befriedigt dies am besten gleichzeitige Ansprüche auf Dichtigkeit und Haltbarkeit.)

Das Atmungsventil des Schwimmers wurde mit Schläuchen für die Inspirations- bzw. Exspirationsluft vereinigt. Diese führten nach einem kleinen Ruderboot, wo die Inspirationsleitung fixiert wurde. Die Exspirationsleitung konnte durch einen im Boote fixierten Dreiwegehahn teils mit der freien Luft, teils mit dem Douglassack in Verbindung gesetzt werden. Durch noch einen Dreiwegehahn — zwischen den schon erwähnten und dem Sacke — wurde ermöglicht, daß der Sack mit einem Handgriff mit der Gasuhr durch eine besondere Leitung vereinigt werden konnte. Der Sack ruhte auf einer auf dem Sitz-

---

[1] *The respiratory exchange of animals and man.* 1916. S. 45.
[2] *Dies Archiv.* 1916. Bd. XXXIII. S. 154.
[3] *Journ. of physiol* 1911. Bd. XLII. S. XVII.
[4] *Nord. med. Ark.* 1872. Bd. IV. Nr. 2. p. 1—22.

brett des Bootes aufgelegten Holzscheibe, wodurch eine schnelle und vollständige Mischung und Entleerung seines Inhalts ermöglicht wurde.

Die Leitung von der Versuchsperson zum Sacke hatte einen inneren Durchmesser von 4 cm und eine Länge von etwa 4 m. Es war eine solche Länge erforderlich, damit die Versuchsperson die nötige Freiheit bei ihren Bewegungen erhalten sollte, teils aber auch, damit sie in solcher Entfernung nach dem Boote schwamm, daß der Ruderführer im vorderen Teil des Bootes sie deutlich sehen konnte. Im Gegensatz zu Zuntz, Loewy, Müller und Caspari (a. a. O.), die



Fig. 1.

eine ganz kurze Inspirationsleitung, die an einem Helm am Kopfe des Schwimmers endigte, anwandten, haben wir die Inspirationsleitung bis zum Boote geführt, weil uns dies sicherer erschien. (Bei gewissen Schwimmarten, z. B. Rückenschwimmen und Trudgeon, dürfte das die einzige Möglichkeit sein.)

Um den Widerstand der Leitungen beim Schwimmen möglichst zu vermindern, waren die Schläuche bei den Schwimmversuchen mit Brustschwimmen etwa 1 m vom Ventil bei einer Rettungsboje fixiert, die mit Hilfe eines am Boote befestigten Seiles gezogen wurde (vgl. Fig. 1). Da der freie Teil der Leitungen zum größten Teil aus „Harmonikaschläuchen“ bestand, war der Schwimmer im Verhältnis zur Boje in

großer Ausdehnung frei beweglich. Der Ruderer hatte nur die ganze Zeit mit der größtmöglichen Aufmerksamkeit darauf zu achten, daß die Entfernung zwischen Schwimmer und Boje immer eine solche war, daß die Harmonikaschläuche leicht gebogen waren.

Bei den Versuchen mit Rückenschwimmen und Trudgeon, da der Schwimmart wegen die Anordnung mit der Boje zu hinderlich war, wurden die Schläuche statt dessen an einer vom hinteren Teile des Bootes horizontal ausgehenden Stange befestigt (vgl. Fig. 2). Vom Ende dieser Stange hing der letzte Meter Schlauch herab. Da also



Fig. 2.

die Schläuche bei Trudgeon nur unmittelbar vor dem Gesicht des Schwimmers im Wasser lagen, konnten die für diese Schwimmart charakteristischen Armbewegungen ausgeführt werden, ohne daß die Schläuche in den Weg kamen. Bei Rückenschwimmen placierte sich der Schwimmer in der Weise, daß sein Kopf zwischen das Boot und das Ende der Stange kam. Die gebogenen Schläuche kamen also nach dem Ventil; indem er die Stange genau beobachtete, konnte der Schwimmer auch in dieser Lage ziemlich leicht eine bestimmte Schwimmrichtung beibehalten Diese zuletzt geschilderte Anordnung funktionierte befriedigend, konnte aber nur dann zur Anwendung kommen, wenn die Bahn gerade und das Wetter so gut wie vollständig ruhig

waren, weil die geringste Abschwenkung des Bootes leicht genug erhebliches Abweichen des Schwimmers aus der Bahn bewirken mußte.

Bei den Schwimmversuchen über größere Entfernungen wurden die Schläuche wie oben beschrieben an der Boje fixiert; bei dem Respirationsversuch kam aber nicht der Sack zur Anwendung, sondern die Exspirationsluft passierte die Gasuhr und dann den Mischungsbehälter, wo die Probeentnahme in derselben Weise wie in den Ruheversuchen geschah.

Sämtliche Schwimmversuche, mit Ausnahme von den im III. Kapitel mitgeteilten, wurden an der Zoologischen Station Kristineberg, an der Westküste Schwedens (in Bohuslän), ausgeführt. Das spezifische Gewicht des Wassers war während der Versuchszeit etwa 1·02, seine Temperatur betrug 16° bis 18° C.

Die kurzdauernden Schwimmversuche wurden auf gemessener Bahn, die auf dem Grunde durch Pfähle markiert war, gemacht. Um von den Witterungsverhältnissen soviel wie möglich unabhängig zu sein, haben wir zwei Bahnen gebraucht, die bei verschiedenen Windrichtungen geschützt lagen. Die am meisten gebrauchte Bahn war 51 m, die andere 44·2 m. Mäßiger Strom und Wind konnten bei vielen Versuchen nicht gänzlich vermieden werden; Bemerkungen hierüber werden in den Versuchstabellen geliefert.

Wenn der Schwimmer, mit Mundstück, Ventil und Nasenklemme versehen, ins Wasser gekommen war, wurde das Ventil mit den Schläuchen vereinigt, und dann begann eine Vorperiode, während der er möglichst genau in derselben Weise und mit derselben Geschwindigkeit wie in dem folgenden definitiven Versuche schwamm. Die Vorperiode dauerte in unseren frühesten Versuchen 1 bis 2 Minuten, entsprechend einer Schwimmstrecke von etwa 50 m; später wurde die Vorperiode aufs Doppelte verlängert, ohne daß irgendein Unterschied im Ergebnis erhalten wurde. Die zuerst erwähnte Vorperiode dürfte deshalb während der gegebenen Verhältnisse genügend gewesen sein, um eine konstante Einstellung des Organismus zu erzielen. Während der Vorperiode schwamm die Versuchsperson in einem Bogen zu dem einen der erwähnten Pfähle und dann weiter zu dem anderen. Beim Passieren der Pfähle wurde der eigentliche Versuch begonnen bzw. abgeschlossen, indem bei dem ersten die Stoppuhr in Gang gebracht und der Dreiwegehahn zur Etablierung einer Kommunikation zum Sack aufgedreht wurden; bei dem zweiten Pfahl erfolgten Hemmung der Stoppuhr und Umdrehung des Hahnes ebenfalls gleichzeitig. Es

wurde stets darauf geachtet, daß Anfang und Ende des Versuchs am Ende einer Exspiration stattfanden. Falls dies nicht genau bei den Pfählen der Fall war, wurde für die entstandene Änderung im Weg korrigiert.

Während nun die Exspirationsluft im Sack sorgfältig gemischt und dann während gleichzeitiger Probeentnahme gemessen wurde, verflossen einige Minuten (gewöhnlich etwa 5), währenddessen die Versuchsperson im Anfang unserer Versuche an der Boje ausruhen konnte. Später, als die längeren Vorperioden eingeführt wurden, hatte der Schwimmer während der ganzen Zwischenperiode mit derjenigen Schnelligkeit zu schwimmen, die im folgenden Versuch beabsichtigt wurde. Bei sehr schnellem Schwimmen war es aber nötig, während des größten Teiles der Zwischenperiode etwas langsamer zu schwimmen; nur während der letzten 50 m kam dann dieselbe Geschwindigkeit wie im eigentlichen Versuche zur Anwendung. Die Ursache dieser Anordnung war offenbar die, daß bei der längeren Vorperiode die in Frage kommenden großen Leistungen nicht auszuhalten waren.

In der Regel folgten in dieser Weise für N. S. täglich etwa sechs Versuche, für die übrigen Versuchspersonen, die einen langdauernden Aufenthalt im Wasser schlechter ertrugen, gewöhnlich höchstens zwei.

Die Versuche längerer Dauer erfolgten von Kristineberg aus, teils über den Gullmarsfjord nach Lysekil, teils nach einer Inselspitze in der Nähe von Kristineberg. Die betreffenden Entfernungen wurden an einer Seekarte des „Kungl. Sjökarteverket“ in der Skala 1:20000 bestimmt und betrugen 2300 bzw. 420 m. Bei diesen Versuchen wurden Proben der Exspirationsluft während 2-, 5- und 10-Minuten-Perioden gesammelt.

In einer kleinen Anzahl kurzdauernder Versuche (z. B. Ruhe im Wasser für G. L.) wurde die Exspirationsluft durch kurzen Schlauch zu einem registrierenden 10-Liter-Spirometer nach Krogh geleitet. Im folgenden wird näher angegeben, wenn der Spirometer in dieser Hinsicht gebraucht wurde.

Fehlerquellen und Genauigkeit.

Betreffs der von uns gebrauchten Methodik der Respirationsversuche können wir uns kurz fassen. Mit Rücksicht auf die Methodik

für die Ruheversuche weisen wir auf die Prüfung von Liljestrand (a. a. O. S. 161) hin. Daß im Prinzip dieselbe Methode auch für Arbeitsversuche anwendbar ist (mit annähernd konstanten Verhältnissen), wenn nur der Mischungsbehälter genügend groß ist, geht aus Versuchen mit Kroghs Respirationsapparat hervor (sowie auch aus noch nicht publizierten Versuchen von Krogh, wo diese Methode mit der Kammermethode verglichen wurde). Es dürfte unzweifelhaft sein, daß gänzlich befriedigende Verhältnisse mit Rücksicht auf die Mischung erhalten werden, wenn die Mischung in der Gasuhr selbst geschieht und der Mischungsbehälter nach ihr kommt.

Betreffs des Douglassackes haben wir uns mehrmals davon überzeugt, daß die Mischung vollständig ist, daß keine meßbare Menge der Gase der Exspirationsluft durch die Wände auch während Vervielfachung der Zeit, die bei einem gewöhnlichen Versuch in Frage kommt, diffundiert. Ein eingeführtes Luftvolumen wurde beim Auspressen quantitativ mit einem Fehler von höchstens $\pm 0 \cdot 1$ Liter zurückgewonnen. Der schädliche Raum des Sackes (bzw. Leitungen), mit CO_2 bestimmt, wurde auf $1 \cdot 3$ Liter festgestellt. Da dieser Raum am Anfang eines Versuchs mit Exspirationsluft vom vorigen Versuch gefüllt ist, ist keine Korrektion für den schädlichen Raum erforderlich.

In den Fällen, wo die Exspirationsluft in dem Spirometer gesammelt wurde, haben wir dessen schädlichen Raum während der Vorperiode mit Exspirationsluft gewaschen.

Die Unsicherheit, die den Bestimmungen des respiratorischen Stoffwechsels in unseren Versuchen anhaftet, dürfte auf etwa 1 Proz. angesetzt werden können.

Wichtiger ist indessen, die Aufmerksamkeit auf einige andere Fehlerquellen zu richten. Zuerst ist dann hervorzuheben, daß die Bestimmung der Geschwindigkeit beim Schwimmen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Zwar bereitet es keine Schwierigkeit, die Zeit genau anzugeben, die zwischen dem Passieren der beiden Pfähle verflossen ist, und die kleine Korrektion, die erforderlich sein kann, um Anfang und Ende des Versuchs in derselben Respirationsphase zu erhalten, hat sicher wenig zu bedeuten. Wenn man aber aus den Versuchsdaten die mittlere Geschwindigkeit berechnet, wird vorausgesetzt, daß während des Versuchs das Schwimmen parallel mit der Verbindungslinie zwischen den Pfählen geschieht. In Wirklichkeit kommen aber nicht selten — auch bei ruhigem Wetter — kleine Abweichungen von der

geradlinigen Bahn vor. Wind und Strom können die hierdurch entstandene Unsicherheit vermehren. Außerdem ist es für den Schwimmer mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, die Geschwindigkeit während Vorperiode und Versuch approximativ konstant zu erhalten, vor allem bei ungewöhnlichen Geschwindigkeiten. Da, wie zu erwarten ist, die Schnelligkeit beim Schwimmen von fundamentaler Bedeutung für die Größe des Gaswechsels ist, können hieraus leicht genug störende Einflüsse entstehen. Ist z. B. das Schwimmen während der Vorperiode schneller als während des Versuchs, dürfte ein zu hoher Wert entstehen können, da nämlich die Änderung im respiratorischen Gaswechsel etwas später zum Vorschein kommen kann als die tatsächliche Vermehrung der Arbeit. In entsprechender Weise kann eine Vermehrung der Geschwindigkeit während des Versuchs einen zu niedrigen Wert des Gaswechsels verursachen. Es scheint uns hiernach offenbar, daß man nicht dieselbe gute Übereinstimmung zwischen verschiedenen miteinander vergleichbaren Versuchen erwarten darf, wie man sie z. B. findet, wenn die Versuchsperson, bei einem Ergograph sitzend, in bestimmten Zeiten eine genau festgestellte äußere Arbeit verrichtet. Die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Beobachtungen scheint uns aber, wenn die erwähnten Verhältnisse berücksichtigt werden, auffallend gut.

In diesem Zusammenhange dürfte auch die Frage erwähnt werden, inwieweit das Schwimmen während der von uns studierten Verhältnisse mit dem Schwimmen ohne Atmungsventil, Schläuchen usw. vollkommen gleichzustellen ist. Es scheint uns offenbar, daß bei den Respirationsversuchen die beweglichen Schläuche beim Schwimmen einen gewissen Extrawiderstand bieten. Zweifelsohne ist aber dieser Extrawiderstand äußerst gering. Gewissermaßen dürfte dies dahin wirken, daß die Werte für den Gaswechsel, die bei einer gewissen Schnelligkeit erhalten werden, eigentlich einer unbedeutend größeren Geschwindigkeit entsprechen.

In der Regel wurde gewöhnliches Brustschwimmen gebraucht. In einigen Fällen haben wir aber auch andere Schwimmarten geprüft. Näheres über die Schwimmbewegungen hierbei findet man im I. Kapitel, S. 36, im Zusammenhange mit der Schilderung der erhaltenen Ergebnisse.

Unsere Versuche sind an insgesamt neun Versuchspersonen, sieben männlichen und zwei weiblichen, ausgeführt worden. Hierüber teilen wir folgende Angaben mit:

Versuchsperson	Geschlecht	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Länge (cm)	Brustumfang (in der Mamillarebene) (cm)	Schwimmfähigkeit
T. G.	M.	24	50·4	165	82	Schwimmt recht gut, langsam, ist ausdauernd.
A. H.	W.	30	53·2	158	87	Schwimmt recht gut, langsam.
H. K.	M.	38	70·9	175·5	91	Schwimmt ziemlich schlecht, wenig geübt in Dauerschwimmen.
G. L.	M.	31	51·5	166·5	86	Schwimmt ziemlich gut und ziemlich ausdauernd.
J. R.	M.	29	59·1	170	83	Schwimmt ziemlich schlecht, sehr langsam, wenig ausdauernd.
S. R.	M.	21	64·1	173	90	Schwimmt gut, schnell, ausdauernd.
E. S.	W.	19	56·7	154·5	86	Schwimmt gut, schnell, ausdauernd.
N. S.	M.	25	90·5	167	103	Schwimmt gut, schnell, sehr ausdauernd,[1]
A. W.	M.	23	76·2	192	94	Schwimmt ziemlich gut, schnell, ausdauernd.

In der Zeit, während der die Versuche ausgeführt wurden, befanden sich T. G., G. L., S. R., E. S. und N. S. in gutem Training. Die übrigen hatten, obgleich nicht besonders trainiert, jedoch einige Tage vorher kurze Schwimmtouren gehabt.

Tabelle 2.

Ruheversuche am Land.[2]

Versuchsperson	Versuchstag	Versuchsdauer (Min.)[3]	Ventilation pro Min.[4] L.	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz pro Min.	Mittel der O_2-Aufnahme
				% CO_2	% O_2					
T. G.	5./7.	5·0	5·31	3·30	16·90	173	224	0·77	65	
		5·0	5·29	3·41	17·28	178	197	0·91	69	
	17./7	5·0	5·14	3·53	16·66	179	230	0·78	72	
		5·1	5·18	3·30	17·11	169	206	0·82	—	214 ± 6·0
		5·0	4·91	3·43	16·80	166	212	0·78	74	(pro kg 4·24)

[1] Ist im Jahre 1913 bei stürmischem Wetter von Landskrona bis Skodsborg (über Öresund), 16 km in gerader Richtung, in 9h 20′ geschwommen.

[2] Bei sämtlichen Berechnungen in dieser Arbeit setzen wir die atmosphärische Luft mit 0·04 Proz. CO_2, 20·93 Proz. O_2 an.

[3] Die Versuchsdauer wird in den Tabellen durchgehend abgerundet mitgeteilt,

[4] Wenn anderes nicht angegeben wird, sind sämtliche Volumina zu 0°. 760 mm und Trockenheit reduziert worden.

(Fortsetzung.)

Versuchs-person	Versuchstag	Versuchs-dauer (Min.)	Ventilation pro Min. L.	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz pro Min.	Mittel der O_2-Aufnahme
				% CO_2	% O_2					
A. H.	17./7.	5·1	4·02	4·04	16·31	161	192	0·84	—	
		5·1	4·05	4·09	16·45	164	187	0·88	—	188
		5·0	3·96	4·05	16·40	159	185	0·86	63	(pro kg 3·54)
H. K.	12./7.	5·1	5·47	3·44	16·92	186	228	0·82	62	
		5·0	5·34	3·48	16·67	184	239	0·77	—	238
		5·0	5·50	3·51	16·63	191	248	0·77	58	(pro kg 3·36)
G. L.	17./7.	5·0	4·72	3·59	16·79	168	203	0·83	49	
		5·0	4·71	3·61	16·92	168	195	0·86	—	
		5·0	5·29	3·60	16·85	188	223	0·84	—	
		5·0	4·86	3·55	16·91	171	202	0·84	56	200 ± 2·9
	18./7.	5·1	4·44	3·78	16·63	166	198	0·84	45	(pro kg 3·89)
		5·0	4·65	3·62	16·85	167	196	0·85	—	
		5·0	4·98	3·50	17·01	172	201	0·86	53	
	28./7.	5·0	3·57	4·20	15·89	149	188	0·79	44	
		5·0	4·01	4·08	16·23	162	196	0·83	—	
		5·1	4·09	3·99	16·33	161	195	0·83	44	
J. R.	9./7.	5·0	4·93	2·90	17·42	141	181	0·78	60	
		5·1	4·94	3·22	17·06	157	200	0·79	64	194 ± 2·6
		5·0	5·22	3·14	17·23	162	202	0·80	62	(pro kg 3·28)
	10./7.	5·5	4·68	3·01	16·94	139	199	0·70	62	
		5·0	4·85	2·99	17·20	143	191	0·75	—	
		5·1	4·85	2·99	17·23	143	189	0·76	60	
S. R.	11./7.	5·0	4·53	4·01	16·37	180	214	0·84	—	
		5·0	4·64	3·92	16·41	180	218	0·83	61	220
		5·0	4·80	3·93	16·38	187	227	0·82	62	(pro kg 3·44)
E. S.	27./7.	5·0	3·98	3·89	16·58	153	178	0·86	—	
		5·0	4·17	3·87	16·60	160	186	0·86	—	183
		5·0	4·07	3·89	16·51	157	186	0·84	54	(pro kg 3·23)
N. S.	3./7.	6·2	4·86	4·00	16·16	192	242	0·79	60	
		5·0	4·71	4·20	15·92	196	246	0·80	—	
		4·9	5·02	4·20	15·89	209	265	0·79	64	
	4./7.	5·0	5·74	3·51	16·59	199	262	0·76	—	
		5·1	5·71	3·57	16·61	201	259	0·78	—	262 ± 2·9
		5·0	5·51	3·70	16·39	201	263	0·77	70	(pro kg 2·90)
	5./7.	5·1	4·82	4·26	15·54	203	275	0·74	66	
		5·1	5·05	4·21	15·67	211	280	0·75	—	
		5·1	5·08	4·10	15·76	205	276	0·74	—	
	6./7.	5·0	5·43	3·92	16·18	211	271	0·78	65	
		5·0	5·39	3·73	16·41	198	256	0·78	62	
		5·0	5·24	3·99	16·11	207	265	0·78	—	
	7./7.	5·0	5·62	3·39	16·75	188	247	0·76	61	
		5·0	5·91	3·55	16·62	208	267	0·78	64	
		5·0	5·73	3·59	16·57	203	262	0·78	—	
A. W.	18./7.	5·1	5·39	3·40	16·90	181	227	0·80	54	242
		5·1	5·48	3·42	16·60	185	251	0·74	—	(pro kg 3·18)
		5·0	5·58	3·38	16·73	186	247	0·75	63	

In der vorstehenden Tabelle (Tab. 2) geben wir eine Übersicht der Ruhewerte bei unseren Versuchspersonen unmittelbar nach dem Erwachen.

2. Die Einwirkung der Geschwindigkeit auf den respiratorischen Gaswechsel beim Brustschwimmen.

Es ist offenbar, daß der Stoffwechsel beim Schwimmen von der betreffenden Geschwindigkeit abhängig sein muß. Je schneller, unter in übrigen Hinsichten konstanten Verhältnissen, geschwommen wird, um so größer dürfte die pro Zeiteinheit entwickelte Arbeit sein, um so größer wird auch mit großer Wahrscheinlichkeit die während dieser Zeit verbrauchte O_2-Menge bzw. produzierte CO_2-Menge sein. Es schien uns offenbar, daß ein Studium des respiratorischen Gaswechsels beim Schwimmen zuerst darauf gerichtet werden muß, den näheren Zusammenhang zwischen Schwimmgeschwindigkeit und Gaswechsel klarzulegen. Erst wenn diese Abhängigkeit berücksichtigt wird, wird ein eingehender Vergleich z. B. zwischen dem Gaswechsel bei verschiedenen Versuchspersonen beim Schwimmen bzw. zwischen Beobachtungen mit verschiedenen Schwimmarten ermöglicht.

Für die erwähnte Fragestellung verfügen wir über ein Material von etwa 50 Versuchen, die an den geschilderten kurzen Bahnen ausgeführt wurden. (Ein Vergleich mit den langdauernden Versuchen wird im I. Kapitel, S. 33, geliefert.) Vor allem bei N. S., aber auch bei G. L., wurden diese Versuche ausgeführt. Wir halten uns hier nur zu den Brustschwimmversuchen. Es wäre wünschenswert, daß die Untersuchungen in diesem Punkte an einer größeren Zahl von Individuen hätten ausgeführt werden können. Andererseits dürften aber die beiden erwähnten Versuchspersonen als gute Vertreter zwei sehr verschiedener Typen von Schwimmern betrachtet werden können. Da, wie erwähnt, beim Anstellen der Versuche beide gut trainiert waren, kann eine Ungleichheit in dieser Hinsicht die erhaltenen Unterschiede in den Ergebnissen nicht erklären. Während aber G. L. mager und von ziemlich schwachem Körperbau ist, bietet N. S. das Bild eines sehr fetten Individuums von ziemlich grobem Körperbau (vgl. S. 12). Die erstgenannte Versuchsperson besitzt, wie zu erwarten, ein schlechtes Vermögen zum „Treiben" (engl. float) im Wasser, kann dies im Süßwasser überhaupt nicht, ohne kleine Bewegungen auszuführen. Sie wird ziemlich schnell abgekühlt und kann vor allem aus

diesem Grunde nur ungern mehr als 20 bis 30 Minuten in Wasser von 18° bis 20° schwimmen. Die Ausdauer beim Schwimmen ist auch an und für sich wesentlich kleiner als bei N. S. Dieser „treibt“ ausgezeichnet, ist im Wasser sehr ausdauernd und kann dort mehrere Stunden bleiben, ohne wesentlich zu frieren. Es dürfte auffallend sein, daß die letzterwähnte Versuchsperson einem Typus angehört, der langer Erfahrung zufolge als relativ gut für den Aufenthalt im Wasser geeignet ist. Betreffs der erstgenannten ist dagegen das Verhalten umgekehrt.

Es schien uns von Interesse zu sein, die Größe des Ruhewertes im Wasser zu kennen, d. h. den Wert des Gaswechsels bei der Geschwindigkeit Null in der Arbeitsstellung bestimmt. Am richtigsten ist es, hierbei den Ruhewert bei etwa derselben Temperatur des Wassers wie in den Schwimmversuchen zu bestimmen, und ohne daß störende Nebeneinflüsse, also auch ohne daß die Wirkung unmittelbar vorhergehender Arbeit zum Vorschein kommen. In unseren Versuchen ruhte die Versuchsperson zuerst etwa 10 bis 15 Minuten am Lande, ausgekleidet, aber gut eingehüllt, mit Maske und Ventil versehen. Eventuell wurde dann ein kurzdauernder Respirationsversuch (1 bis 2 Min.) in sitzender Stellung mit Hilfe des Spirometers ausgeführt, worauf die Versuchsperson vorsichtig in das Wasser stieg, entweder in das Bassin (4./7.), wo die Schwimmversuche begannen, oder auch in eine Badewanne, die mit Wasser gewünschter Temperatur gefüllt war. Bei dem erstgenannten Versuch stand die Versuchsperson ruhig auf dem Grunde, bei den übrigen dagegen ruhte sie in der Wanne in der Brustschwimmlage, von einem Gurt unter dem unteren Teil des Bauches unterstützt und mit den Ellenbogen gegen den Boden der Wanne gelehnt.

Bei N. S. wurden neun solche Ruheversuche, sämtlich bei einer Wassertemperatur von 16° bis 20°, ausgeführt. Sie werden in der Tab. 3 nebst den vorhergehenden Ruheversuchen am Lande mitgeteilt.

Das Mittel für den O_2-Verbrauch in den Versuchen am Lande wird 301 ccm und im Bade 345 $\pm$ 2·8 ccm. Daß der Wert im vorigen Falle nicht unwesentlich höher als bei den Ruheversuchen der Tab. 2 ist, beruht zweifelsohne auf der kürzeren Vorperiode in der Tab. 3. Wie ersichtlich, steigt nun der Ruhewert im Wasser mit etwa 15 Proz. im Verhältnis zu den unmittelbar vorhergehenden Ruheversuchen am Lande. An und für sich ist eine solche Steigerung zu erwarten, da mehrere Faktoren in dieser Richtung wirken. Eine Vermehrung der Atmungsarbeit (vgl. IV. Kapitel), vielleicht auch der Herzarbeit zu-

Tabelle 3.

Ruheversuche bei N. S. in Wasser und sitzend am Lande.

Versuchstag	Dauer des Versuchs	Ventilation L. pro Min.	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
			% CO_2	% O_2				
4./7.	4·0	7·82	4·17	16·29	323	373	0·87	Stehend im Wasser; Vorperiode im Wasser 2′.
22./10.	2·6	5·68	4·57	15·31	257	336	0·77	Liegend in der Badewanne; Vorperiode im Wasser 10′.
	2·5	6·00	4·62	15·75	275	321	0·86	Liegend, 2′ nach dem vorigen Versuch.
29./10.	0·8[1]	6·18	3·95	16·36	241	293	0·82	Sitzend vor dem Bade.
	2·0	5·96	4·96	15·38	292	341	0·86	Liegend in der Wanne; Vorperiode im Wasser 6′.
	2·0	5·82	4·91	15·20	283	347	0·82	Liegend in der Wanne.
31./10.	1·3[1]	5·78	4·04	15·86	231	309	0·75	Sitzend vor dem Bade.
	1·1[1]	6·82	4·89	15·31	330	396	0·83	Liegend in der Wanne; Vorperiode im Wasser 4′.
	2·0	6·65	4·77	15·24	314	394	0·80	Liegend, 3·5′ nach dem vorigen Versuch.
2./11.	1·4[1]	5·40	4·35	15·64	232	300	0·78	Sitzend vor dem Bade.
	2·1	6·63	4·845	15·375	319	382	0·84	Liegend in der Wanne; Vorperiode im Wasser 5·5′.
	2·0	6·74	4·80	15·18	321	405	0·79	Liegend in der Wanne.

folge des hohen Blutdruckes, dürfte auch eintreten können. Wichtiger ist vermutlich, daß eine gewisse Spannung etlicher Muskeln kaum ganz zu vermeiden ist, auch wenn man sich bemüht, vollkommen ruhig in der Arbeitsstellung im Wasser zu bleiben. In Übereinstimmung hiermit erhalten wir auch (vgl. IV. Kapitel) in den Ruheversuchen im indifferenten Bad (in Brustschwimmlage) eine Erhöhung des O_2-Verbrauches von 9.3 Proz. im Vergleich mit dem vorher bestimmten für Ruhe bei Rückenlage am Lande. Die Möglichkeit einer Einwirkung des Kältereizes auf die Muskulatur — auch ohne Zittern — ist wohl auch nicht ganz ausgeschlossen.

Auch bei G. L. wurden einige Versuche ausgeführt, um den Ruhewert in der Schwimmlage in Wasser zu bestimmen. Es zeigte sich aber bald, daß bei ihm keine zuverlässigen Ruhewerte in dieser Weise zu erhalten waren. Schon nach einem Aufenthalt von einigen Minuten

[1] In diesen Fällen wurde die Exspirationsluft im Spirometer gesammelt (für den schädlichen Raum evtl. korrigiert).

in Wasser von 25° trat sehr heftiges Zittern ein, das ununterbrochen an Stärke zunahm und natürlich wesentlich auf das Ergebnis einwirkte. So wurden z. B. (in Spirometerversuchen von etwa 1 Minute Dauer) folgende Werte erhalten: O_2-Verbrauch, sitzend in Ruhe, 226 ccm pro Minute, 2 Minuten nach dem Hineinsteigen ins Bad 382 ccm, 1 bis 2 Minuten später 421 ccm, nach nochmals 1 bis 2 Minuten 498 ccm. Offenbar geben diese sämtlichen Werte, auch 382 ccm pro Minute, nur die obere Grenze für denjenigen Verbrauch an, der der Schwimmlage im Wasser entspricht. Es ist nämlich zu bemerken, daß Zittern und Frieren bei G. L. so gut wie nie während der Schwimmversuche vorkamen, wahrscheinlich wegen der Körperbewegungen während des Schwimmens.

Wir gehen nun zu den Schwimmversuchen über. In der Tab. 4 geben wir eine Übersicht der betreffenden Versuche bei N. S.

Tabelle 4.

Brustschwimmen mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens Meter pro Min.	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation L. pro Min.	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom[1]
					% CO_2	% O_2				
18./7.	2·8	15·6	15·2	14·0	4·10	15·85	567	748	0·76	l (Gegenstrom)
21./7.	3·2	16·1	15·1	14·7	4·07	15·78	592	800	0·74	l
21./7.	3·1	16·4	16·8	16·3	3·84	16·47	621	758	0·82	l
18./7.	2·5	17·7	14·5	13·9	4·26	15·60	586	780	0·75	l (Mitstrom)
24./7.	2·3	22·6	19·6	25·0	3·66	16·36	907	1207	0·75	l
21./7.	2·2	23·0	18·0	20·3	4·42	15·35	889	1197	0·74	l
25./7.	2·2	23·4	12·8	17·4	4·55	15·29	784	1033	0·76	l
24./7.	2·2	23·6	15·3	20·5	4·50	14·70	916	1375	0·66	l
25./7.	2·0	25·5	14·0	21·6	4·27	16·09	915	1081	0·85	l
26./7.	2·0	26·0	—	21·0	4·31	15·13	894	1301	0·69	v
26./7.	1·9	26·4	18·1	19·2	3·92	15·66	744	1082	0·69	v
25./7.	1·7	30·4	17·8	23·6	4·33	15·53	1010	1340	0·75	l
4./7.	1·7	30·9	19·4	25·2	4·175	15·365	1041	1499	0·69	v
12./7.	1·7	30·9	18·8	25·3	4·36	15·45	1094	1466	0·75	vv

[1] In dieser wie in den folgenden Tabellen bezeichnet *ll* vollständig, *l* bei nahe vollständig ruhiges Wasser, *v* schwachen und *vv* mäßigen Wind oder Strom Die letztgenannten sind regelmäßig, wenn nicht anders bemerkt wird (Mit- bzw. Gegenströmung), rechtwinkelig gegen die Längsrichtung der Schwimmbahn.

(Fortsetzung.)

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens Meter pro Min.	Schwimmstöße pro Minute	Ventilation L. pro Min.	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom
					% CO_2	% O_2				
4./7.	1·6	32·2	20·3	28·7	4·32	15·20	1227	1752	0·70	*v*
11./7.	1·5	33·1	16·9	29·7	4·23	15·37	1245	1760	0·71	*ll*
6./7	1·5	34·4	18·9	29·8	3·95	15·63	1164	1688	0·69	*v*
7./7.	1·5	34·7	19·7	36·6	3·79	16·27	1372	1792	0·77	*vv*
12./7.	1·5	34·9	21·2	32·7	3·91	16·02	1265	1697	0·75	*vv*
6./7.	1·4	35·9	19·7	35·8	4·10	15·87	1455	1906	0·76	*v*
21./7.	1·4	35·9	21·1	28·9	4·97	15·03	1425	1781	0·80	*l*
21./7.	1·4	36·7	20·8	26·5	4·68	15·01	1231	1660	0·74	*l*
6./7.	1·4	36·9	18·8	26·4	4·17	14·91	1090	1721	0·63	*v*
18./7.	1·2	37·3	18·6	34·7	4·66	15·58	1602	1921	0·83	*l* (Mitstrom)
7./7.	1·4	37·8	23·0	41·9	3·91	16·62	1623	1858	0·87	*vv*
9./7.	1·3	38·4	21·8	38·6	4·35	16·13	1664	1903	0·87	*ll*
12./7.	1·3	39·2	24·6	49·2	3·92	16·30	1910	2367	0·81	*vv*
21./7.	1·3	40·1	21·2	37·8	4·41	16·09	1653	1880	0·88	*l*
21./7.	1·3	41·0	21·7	47·2	4·88	15·92	2283	2386	0·96	*l*
11./7.	1·2	41·4	22·8	45·4	4·07	15·90	1828	2399	0·76	*ll*
12./7.	1·2	43·2	27·1	57·4	3·89	16·57	2209	2582	0·86	*vv*
4./7.	1·2	43·9	25·0	46·0	3·96	16·36	1804	2181	0·83	*v*
18./7.	1·0	44·0	24·0	52·4	4·20	16·16	2179	2582	0·84	*l* (Mitstrom)
4./7.	1·1	45·5	23·2	43·0	4·31	16·09	1836	2146	0·86	*v*
7./7.	1·1	47·1	24·9	49·1	3·50	16·54	1698	2277	0·75	*vv*
9./7.	1·1	47·2	29·1	54·0	4·20	16·09	2244	2708	0·83	*ll*
21./7.	1·1	47·6	26·2	57·4	4·86	16·06	2768	2797	0·99	*l*
7./7.	1·0	49·4	26·2	55·6	3·96	16·48	2180	2553	0·85	*vv*
4./7.	1·0	49·5	30·1	47·5	3·97	16·57	1866	2177	0·88	*v*

Die nähere Prüfung dieser Tabelle zeigt, wenn von kleineren Abweichungen, die wohl bei Versuchen dieser Art kaum vermieden werden können, abgesehen wird, mit steigender Geschwindigkeit des Schwimmens eine deutliche Steigerung sowohl der Atmungsfrequenz und der Ventilation als auch der CO_2-Abgabe und O_2-Aufnahme pro Minute.

Was die Respirationsfrequenz betrifft, ist sie, wie wir bei zahlreichen Gelegenheiten konstatiert haben, bei dieser Versuchsperson (wie auch bei G. L.) dieselbe wie die Zahl der Schwimmstöße. Von einer Frequenz von etwa 12 bis 15 Atemzüge pro Minute bei langsamem Schwimmen findet sich eine allmähliche Steigerung bis zu einem Maximum von 30 Atemzügen pro Minute bei dem schnellsten Schwimmen, das während der vorhandenen Verhältnisse erhalten werden

konnte. Gleichzeitig wächst die Ventilation von anfänglich 14 Litern pro Minute bis zu einem höchsten Werte von beinahe 60 Litern, entsprechend bei Körpertemperatur und mit Wasserdampf gesättigt (d. h. mithin tatsächliche Ventilation) etwa 17 bis 70 Liter pro Minute. Da die Ventilation schneller als die Frequenz ansteigt, resultiert daraus eine Vergrößerung des einzelnen Atemzuges (von etwa 1150 bis 2600 ccm bei 37°).

In nahem Zusammenhange mit dem Verhalten des Atmungsmechanismus steht bekanntlich der respiratorische Quotient. Wie es bei kurzdauernden Arbeitsversuchen der hier in Frage kommenden Art zu erwarten ist, zeigt er eine gewisse Unregelmäßigkeit. Jedoch kann man deutlich einen gewissen Zusammenhang zwischen der Größe des Stoffwechsels und der Höhe des Quotienten verspüren. Bei niedrigen und mäßigen Schwimmgeschwindigkeiten ist der Quotient in der Regel niedrig, etwa 0·75. Bisweilen steigt er unbedeutend, in maximo zu der mäßigen Höhe von 0·85. Von irgendeiner wesentlichen CO_2-Auswaschung kann hier nicht die Rede sein. Dagegen findet man zu wiederholten Malen eine augenfällige CO_2-Retention im Organismus, und als Folge davon einen Quotienten sogar unter 0·70, ja bis zu 0·63. Es scheint uns annehmbar, daß die Retention die Kompensation einer vorhergehenden Auswaschung ist. Bei den höheren Schwimmgeschwindigkeiten dagegen findet man keine Quotienten, die mit Sicherheit auf Retention zu schließen erlauben. Nur in einigen Fällen ist er so niedrig wie 0·75; in der Regel hält er sich etwas über 0·80. In mehreren Fällen dagegen werden Werte erreicht, die mit sehr großer Wahrscheinlichkeit auf CO_2-Auswaschung deuten (z. B. 0·96, 0·99). Es ist nicht ohne Interesse, zu bemerken, daß der Quotient bei den Ruheversuchen im Wasser (Tab. 3) gegenüber den Ruheversuchen am Lande regelmäßig etwas erhöht ist, wahrscheinlich wegen des Kältereizes (vgl. auch die Tab. 1). Dieser Faktor scheint dagegen beim Schwimmen keine entsprechende Bedeutung zu haben, da ja der Quotient bei langsamer und mäßiger Geschwindigkeit nicht erhöht wird. Hier findet man ja die Steigerung des Quotienten bei wesentlicher Erhöhung des Umsatzes.

Ähnliche Beobachtungen sind früher bei anderen Arbeitsformen gemacht worden, z. B. von Douglas, Haldane, Henderson und Schneider[1] beim Gehen. Sie sehen, wie vor ihnen Geppert und

[1] *Philosoph. Transact. Roy. Soc.* 1913. Bd. CCIII. Ser. B. p. 259.

Zuntz[1], die Erklärung darin, daß in den Muskeln unvollständig oxydierte Produkte gebildet werden, wodurch das Atmungszentrum zu gesteigerter Wirksamkeit mit daraus resultierendem erhöhten Quotienten stimuliert wird. Lindhard[2], der bei Arbeitsversuchen am Cykelergometer oft einen hohen respiratorischen Quotienten gefunden hat, erklärt dies so, daß nervöse Momente hineinspielen, indem die Versuchsperson zentrale Impulse zum Respirationszentrum gibt, wodurch (wegen erhöhter Empfindlichkeit des Zentrums) eine CO_2-Auswaschung leicht eintritt. Speziell soll das der Fall sein, wenn die Anstrengung als erheblich empfunden wird und die Durchführung des Versuchs große Ansprüche auf Anhalten der Willensanspannung von Seiten der Versuchsperson erfordert.

Daß nervöse Momente mit Sicherheit eine solche Rolle spielen können, geht daraus hervor, daß der respiratorische Quotient in der Regel unmittelbar zu Beginn der Muskelarbeit steigt (Krogh und Lindhard[3]). Ist die Auffassung von der Bildung unvollständiger Oxydationsprodukte richtig, so liegt die Möglichkeit vor, daß der kalorische Wert des Sauerstoffs ein anderer wird als bei vollständiger Verbrennung von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten. Auch als Folge einer Überventilation kann wegen geänderter Zusammensetzung der Lungenluft usw. eine Fehlerquelle entstehen; bei genügender Vorperiode dürfte aber die O_2-Aufnahme dem O_2-Verbrauch genau entsprechen.

Das größte Interesse bei den angeführten Schwimmversuchen knüpft sich zweifelsohne an den O_2-Verbrauch. Er findet sich graphisch dargestellt in der Fig. 3. Für die niedrigsten untersuchten Schwimmgeschwindigkeiten (15 bis 17 m pro Minute) findet man den mäßigen O_2-Verbrauch von 750 bis 800 ccm pro Minute. Bei steigender Schwimmgeschwindigkeit steigt der O_2-Verbrauch in schnellem Tempo, beträchtlich schneller als nach einer Geraden. Die Maximalleistung (etwa 50 m pro Minute) entspricht einem O_2-Verbrauch von etwa 2800 ccm pro Minute. Mit Kenntnis des dazu gehörenden Ruhewertes ist es leicht genug, den O_2-Verbrauch zu berechnen, der einer Schwimmstrecke von 1 m bei den verschiedenen Geschwindigkeiten entspricht. Wir haben hierbei für N. S. den Ruhewert in der Arbeitsstellung in Wasser von gleicher Temperatur (vgl. Tab. 3) wie in den Schwimmversuchen gebraucht. An und für sich scheint es richtiger, von diesem Wert aus-

[1] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1888. Bd. XLII. S. 189.

[2] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 325 u. 328.

[3] *Journ. of physiol.* 1913. Vol. XLVII. p. 121.

zugehen — wenn er genau bestimmt werden kann — als von dem Wert bei Bettruhe (Tab. 2), wie es Zuntz, Loewy, Müller und Caspari getan haben (l. c.). Die Wirkungen auf Blutdruck, Herz, Atmung usw., die der bloße Aufenthalt im Wasser mit sich bringt, werden in dieser

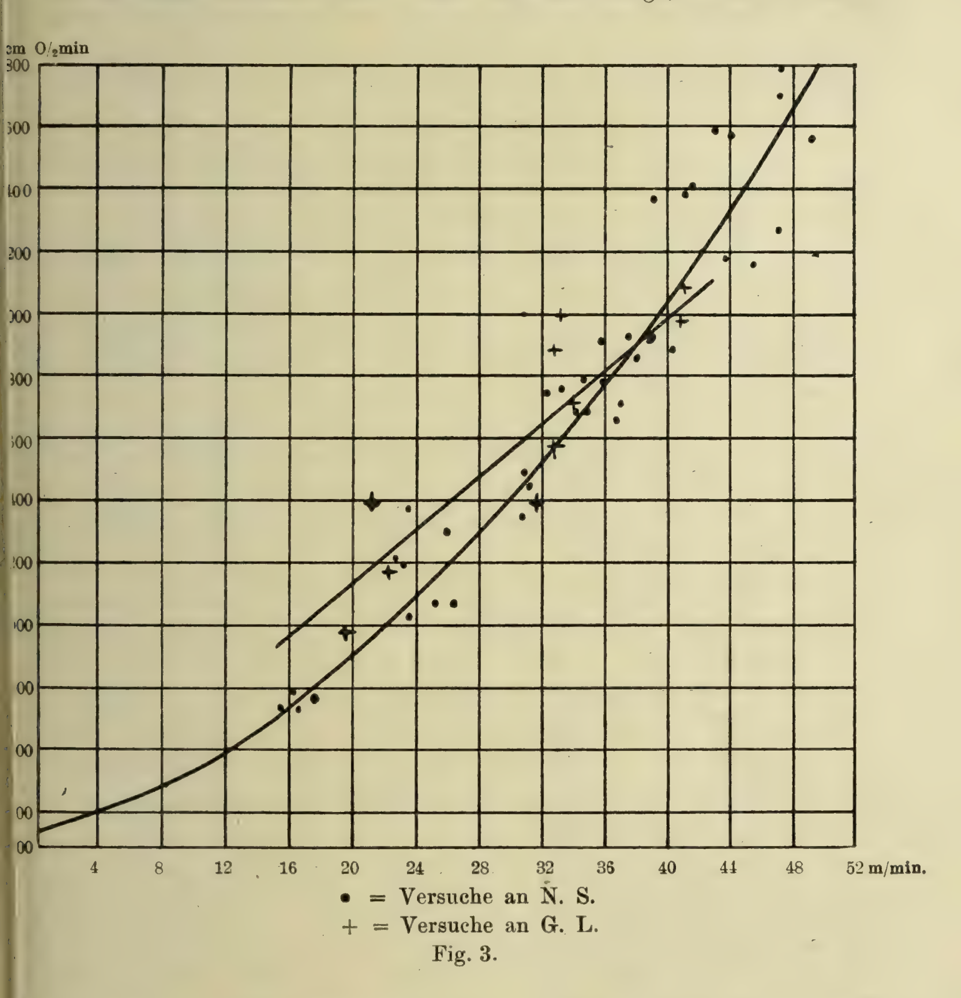


Fig. 3.

Weise reproduziert. Indessen treffen zum Teil gegen die Ruheversuche in Wasser Einwendungen zu, die denjenigen entsprechen, die Durig[1] gegen den Gebrauch der stehenden Stellung als Ausgangsstellung für die Berechnung der Geharbeit richtet. Besonders ist zu beachten, daß

[1] *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien.* 1911. Bd. LXVIII. S. 242.

bei den Ruheversuchen in Wasser, wenn die Versuchsperson sich auf die Ellenbogen stützt, eine gewisse Arbeit entsteht, die in dieser Form nicht beim Schwimmen vorhanden ist. Wahrscheinlich ist deshalb der betreffende Ruhewert unwesentlich zu hoch, während andererseits der Wert bei Bettruhe sicher zu niedrig ist. Nach Einteilung des Materials in Klassen nach den Geschwindigkeiten werden also die folgenden Werte berechnet:

Tabelle 5.
Versuchsperson: N. S.

Schwimmstrecke, Meter pro Min.	Schwimmstrecke, Meter pro Min. (Mittel)	Zahl der Versuche	O_2-Verbrauch ccm pro Min. (Mittel)	O_2-Verbrauch ccm pro Min. nach Abzug d. Ruhewertes	O_2-Verbrauch ccm pr. Meter Weg
15—20	16·5	4	772	427	25·8
20—30	24·4	7	1182	837	34·3
30—40	34·9	16	1757	1412	40·4
40—50	45·0	12	2389	2044	45·4

Aus der ausgeglichenen Kurve (Fig. 3) werden in derselben Weise die folgenden Werte berechnet (bei den Berechnungen der entwickelten kalorien wird der respiratorische Quotient bei den Ruheversuchen, 0·77, zugrunde gelegt):

Schwimmstrecke, Meter pro Min.	O_2-Verbrauch ccm pro Meter Weg	Relativer O_2-Verbrauch pro Meter Weg	kalorien pro Meter Weg
10	19·8	100	96·0
20	28·5	144	138·1
30	35·8	181	173·5
40	42·4	214	205·5
50	49·1	248	238·0

Es findet also ein ziemlich erheblicher O_2-Verbrauch statt, wenn der Körper infolge des Schwimmens auch mit sehr mäßiger Geschwindigkeit durch das Wasser getrieben werden soll. Mit steigender Geschwindigkeit wächst der O_2-Verbrauch pro Meter Weg ziemlich schnell. Die Zunahme folgt ziemlich gut einer Geraden.

Die Versuche bei G. L. finden sich in der Tab. 6.

Obgleich die Zahl der Versuche wesentlich kleiner und die Unregelmäßigkeiten auch mehr hervortretend als bei N. S. sind, wird man jedoch von der allgemeinen Steigerung der untersuchten Funktionen bei vermehrter Geschwindigkeit nicht zweifeln können.

Tabelle 6.

Brustschwimmen mit verschiedenen Geschwindigkeiten.

Versuchsperson: G. L.

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens (Meter pro Min.)	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom
					% CO_2	% O_2				
16./7.	2·6	19·6	26·8	19·4	4·56	15·95	874	987	0·89	*ll*
25./7.	2·4	21·2	25·0	31·0	3·80	16·61	1167	1387	0·84	*l*
21./7.	2·3	22·2	28·2	22 2	4·37	15·94	963	1149	0·84	*l*
7./7.	1·6	31·9	36·9	38·6	4·25	17·19	1625	1396	1·16	*vv*
13./7.	1·6	32·7	32·0	47·9	4·35	16·90	2066	1898	1·09	*ll*
21./7.	1·6	32·9	31·6	31·8	4·88	15·96	1538	1590	0·97	*l*
13./7.	1·5	33·3	33·3	50·2	3·73	17·01	1851	1997	0·93	*ll*
4./7.	1·5	34·0	34·0	50·2	4·05	17·45	2011	1710	1·18	*v*
4./7.	1·3	40·8	38·4	60·4	3·57	17·46	2132	2083	1·02	*v*
7./7.	1·3	40·8	45·6	58·6	3·51	17·545	2033	1971	1·03	*vv*

Was die Atmungsfrequenz betrifft, zeigt G. L. schon bei langsamem Schwimmen (21·2 m pro Minute) einen Wert, 25·0 pro Minute, der sich dem bei N. S. maximalen nähert, entsprechend einer doppelt so großen Schwimmgeschwindigkeit. Die Respirationsfrequenz steigt schnell bei G. L. bis zu dem sehr hohen Wert von 45·6 als obere Grenze (Geschwindigkeit etwa 41 m pro Minute). Es ist kaum zweifelhaft, daß der wesentlich schnellere Atemrhythmus bei G. L. mit seinem relativ schlechten Vermögen, im Wasser zu treiben, zusammenhängt. Wie oben erwähnt, geschieht bei G. L. wie bei N. S. die Atmung in demselben Rhythmus wie den der Schwimmstöße. Seines schlechten Treibvermögens zufolge muß indessen G. L. mehr Schwimmstöße als N. S. ausführen, um mit derselben Geschwindigkeit durch das Wasser getrieben zu werden (vgl. auch II. Kapitel!).

Auch die Ventilation steigt bei G. L. bedeutend schneller als bei N. S., so daß sie schon bei einer Geschwindigkeit von 19·6 m pro Minute 19·4 Liter beträgt; bei einem O_2-Verbrauch von 2000 ccm pro Minute — etwa die obere Grenze — ist die Ventilation größer als die höchste bei N. S. erreichte. So steigt sie bei G. L. bis 60·4 Liter pro Minute (entsprechend bei 37° und Sättigung 73·5 Liter). Als Folge der schnellen Frequenz werden die Atemzüge beträchtlich kleiner als bei N. S. (bei G. L. wachsen sie von 880 bis 1910 ccm [37°, ges.]). Zum Teil beruht die schnelle Ventilationsvermehrung bei G. L. auf der höheren Atmungs-

frequenz, wodurch der schädliche Raum eine größere Bedeutung bekommt. Außerdem kommt aber offenbar bei G. L. eine Überventilation wenigstens bei Geschwindigkeiten über 30 m pro Minute, vor. Dies kommt deutlich zum Ausdruck in dem respiratorischen Quotienten, der sich in den drei Versuchen mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 m pro Minute auf gewöhnlichem Werte hält, aber in sämtlichen Versuchen mit schnellerem Schwimmen mehr oder minder auffallend gestiegen ist. Eine bedeutende CO_2-Auswaschung findet hier in vielen Fällen statt, da ja der Quotient Werte erreicht, die wesentlich über 1 sind (bis 1·18). Bei einem Vergleich mit den Versuchen bei N. S. muß man sich aber vergegenwärtigen, daß der respiratorische Quotient während der Ruhe bei ihm wesentlich niedriger als bei G. L. ist. Aus der Tab. 2 findet man als Mittel der Ruheversuche für N. S. den Quotienten 0·77, für G. L. 0·84. Auch wenn dies berücksichtigt wird, ist die Erhöhung des Quotienten bei G. L. wesentlich größer als bei N. S. Eine ähnliche Verschiedenheit zwischen den Quotienten, wie sie die Versuchspersonen N. S. und G. L. darbieten, findet sich auch zwischen zwei von Lindhards Versuchspersonen. So stieg bei der einen (J. J.), die während der vorhandenen Umstände einen maximalen O_2-Verbrauch von 3200 ccm erreichte, der Quotient viel weniger als bei der zweiten (J. L.), wo die Grenze bei etwa 2550 ccm pro Minute lag (a. a. O. S. 319 u. 322).

Der O_2-Verbrauch bei G. L. wurde zum Vergleich in der Fig. 3 eingeführt. Man findet hier zwei höchst beachtenswerte Verhältnisse. Was zuerst die allgemeine Form der Kurve betrifft, scheinen die Beobachtungen mit großer Wahrscheinlichkeit dafür zu sprechen, daß diese eine andere ist als bei N. S. Die Kurve geht nämlich in ihrer Gesamtheit approximativ nach einer Geraden (vgl. Fig. 3). Während sie im unteren Teil ziemlich viel höher als die Kurve für N. S. geht, scheint sie sich dieser allmählich zu nähern und schneidet sie in der Nähe der Geschwindigkeit 38 m pro Minute. Hierzu kommt noch, wie erwähnt, daß sie bis zu diesem Punkt höher geht als die Kurve für N. S. Dies bedeutet also, daß bei G. L. bei einer Geschwindigkeit bis zu 38 m pro Minute der O_2-Verbrauch absolut größer ist als bei N. S., obgleich der erstgenannte nur etwa 0·57 von dem Gewicht des letzteren aufweist. Bei größeren Geschwindigkeiten scheint dagegen bei G. L. der O_2-Verbrauch möglicherweise absolut kleiner zu werden als bei N. S. Auf die Erklärung dieser Verhältnisse werden wir im II. Kapitel zurückkommen.

Der Ruhewert im Wasser für G. L. konnte wegen früher erwähnten Verhältnissen nicht festgestellt werden. Indessen dürfte man, von Versuchen im indifferenten Bade (IV. Kapitel) ausgehend, den Ruhewert bei G. L. annäherungsweise schätzen können. In jenen Versuchen wurde bei G. L. ein Wert erhalten, der etwa 40 ccm kleiner war als bei N. S. Nimmt man etwas Ähnliches für Ruhewerte in Wasser von 20° ohne störende Nebeneinflüsse an, so erhält man etwa 300 ccm pro Minute für den O_2-Verbrauch. Eine Berechnung des O_2-Verbrauchs pro Meter Schwimmstrecke aus der ausgeglichenen Kurve gibt dann für G. L. 42 ccm, unabhängig von der Geschwindigkeit. Dies steht ja — in Übereinstimmung mit dem annähernd geradlinigen Verlauf der Kurve — im Gegensatz zu den Verhältnissen bei N. S. Bei einem respiratorischen Quotienten von 0·84 ist der entsprechende Kalorienwert 206·3.

Da es von gewissem Interesse zu sein schien, die von uns beim Schwimmen gewonnenen Ergebnisse mit den Verhältnissen beim Gehen vergleichen zu können, führten wir an den beiden erwähnten Versuchspersonen einige Bestimmungen des Gaswechsels beim Gehen auf horizontaler, ziemlich ebener Bahn im Freien aus. Die Bahn war 41 m lang und wurde während der Versuchsperiode viermal (mit drei Wendungen) zurückgelegt. Die Versuchsperson trug am Rücken den Douglassack; in einem Vorversuch wurde dieser mit Exspirationsluft derselben Art wie im definitiven Versuch gespült. Die Exspirationsluft wurde erst nach einer Vorperiode von mehreren Minuten aufgesammelt; der Hahn wurde vom Versuchsleiter gedreht, während die Versuchsperson selbst die Atmungsfrequenz zählte.

In den Tab. 7 und 8 werden die Versuche mit Gehen mitgeteilt.

Tabelle 7.

Marschversuche auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: N. S. (Gewicht mit Kleidern und Packung 98·9 kg).

Versuchstag	Dauer d. Versuchs (Min.)	Weg pro Min. (Meter)	Respir.-Frequenz pr. Min.	Ventilation (L. pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2-Verbrauch pr. Meter Weg nach Abzug d. Ruhewertes	O_2-Verbrauch (ccm) pro kg u. Meter Weg
					% CO_2	% O_2					
23./7	2·1	78·0	—	19·9	4·74	14·96	934	1255	0·75	12·7	0·129
	2·1	78·8	17·3	19·4	4·58	15·03	879	1213	0·73	12·1	0·122
26./7.	1·9	84·5	—	23·3	4·07	15·82	938	1256	0·75	11·8	0·119
	1·9	88·2	—	25·0	5·06	14·78	1255	1612	0·78	15·3	0·154
	1·8	92·6	—	24·3	4·75	15·20	1145	1459	0·79	12·9	0·130
23./7.	1·7	96·4	20·0	27·2	4·65	15·24	1253	1625	0·77	14·1	0·142

Tabelle 8.

Marschversuche auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L. (Gewicht mit Kleidern und Packung 60·0 kg).

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Weg pro Min. (m)	Respirationsfrequenz pro Min.	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2-Verbrauch pro Meter Weg nach Abzug des Ruhewertes	O_2-Verbrauch (ccm) pro kg und Meter Weg
					% CO_2	% O_2					
23./7.	1·9	84·8	16·6	15·2	4·66	15·10	700	932	0·75	8·6	0·144
26./7.	1·9	86·4	18·4	16·7	4·42	15·77	731	896	0·82	8·1	0·134
	1·8	89·2	18·5	18·1	4·53	15·70	813	984	0·83	8·8	0·147
23./7.	1·8	92·0	17·4	17·6	4·64	15·40	808	1016	0·80	8·9	0·148
	1·6	103·6	17·7	20·5	4·70	15·14	957	1251	0·77	10·1	0·169

Ein Vergleich zwischen Atmungsfrequenz und Ventilation beim Gehen und Schwimmen zeigt bei N. S. sehr ähnliche Verhältnisse. Gegen einen bestimmten O_2-Verbrauch sprechen in beiden Fällen etwa gleichgroße Werte dieser Funktionen. Für G. L. ist dies dagegen nicht der Fall. Die Frequenz ist beim Schwimmen wesentlich größer als beim Gehen, und eine entsprechende Vermehrung der Ventilation findet sich auch.

Von den gefundenen Werten für den O_2-Verbrauch haben wir (nach Durig und Zuntz[1]) die Ruhewerte der Tab. 2 subtrahiert und so den O_2-Verbrauch pro Meter Weg bzw. pro Kilogramm und Meter berechnet. (Für unseren Zweck ist es ziemlich gleichgültig, ob man mit dem Ruhewert bei Bettruhe oder nach Benedict und Murschhauser[2] mit dem Ruhewert in der Arbeitsstellung rechnet.) Die von uns gefundenen Werte stimmen gut mit denjenigen überein, die in der Literatur angegeben werden, wenn die Beschaffenheit der Bahn und die Wendungen berücksichtigt werden. Pro Kilogramm und Meter werden für die beiden Versuchspersonen etwa gleichgroße Werte erhalten. Von Interesse scheint uns der Vergleich zwischen dem O_2-Verbrauch beim Schwimmen 1 m und beim horizontalen Gehen derselben Weglänge. Für N. S. findet man so, daß bei sehr langsamem Schwimmen (15 m pro Minute) der O_2-Verbrauch pro Meter doppelt so groß als beim gewöhnlichen Gehen wird. Bei gewöhnlicher Schwimmgeschwindigkeit (vgl. I. Kapitel, S. 31) ist der Verbrauch pro Meter mehr als dreimal

[1] *Arch. (f. Anat. u.) Physiol.* 1904. Bd. XXVIII. S. 417.

[2] *Energy transformations during horizontal walking, Carn. Inst. of Wash. Publ.* 1915. No. 231.

so groß als für gewöhnliches Gehen 1 m. Für G. L. ist das Verhältnis sogar 4 oder 5 zu 1.

Auch in einer anderen Hinsicht beansprucht ein Vergleich mit dem Marsch Interesse. Die Energiemenge pro Kilogramm und Meter ist nämlich, wie zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben, in hohem Grade von der Marschgeschwindigkeit abhängig (vgl. Benedict und Murschhauser mit ausführlicher Literaturübersicht). Versuche von Brezina und Kolmer[1], von Brezina und Reichel[2] bearbeitet, zeigen, daß der Umsatz pro Kilogramm und Meter von einer gewissen Geschwindigkeit an („die ökonomische Maximalgeschwindigkeit") mit wachsender Geschwindigkeit nach einer Exponentialkurve steigt. Aus der Arbeit von Durig scheint außerdem hervorzugehen, daß die Kurve für verschiedene Versuchspersonen einen sehr gleichmäßigen Verlauf hat. Bei unseren Schwimmversuchen sind die Verhältnisse offenbar ganz andere. Für N. S. folgte die Steigerung des Umsatzes pro Meter ziemlich nahe einer Geraden, und die Versuche bei G. L. zeigen überhaupt keine sichere Steigerung.

3. Versuche mit Brustschwimmen bei verschiedenen Versuchspersonen.

Die im vorigen mitgeteilten Ergebnisse zeigen höchst bemerkenswerte individuelle Verschiedenheiten. Es war deshalb wünschenswert, von einer etwas größeren Zahl von Versuchspersonen wenigstens einige Bestimmungen des respiratorischen Gaswechsels beim Schwimmen zu haben. Aus diesem Anlaß wurden einige kurzdauernde Versuche mit Brustschwimmen bei noch sieben Personen ausgeführt, die sich gütigst zur Verfügung stellten. Im allgemeinen wurde dann die Versuchsperson gebeten, das Schwimmen mit dem Tempo und der Geschwindigkeit auszuführen, die sie selbst am liebsten zu gebrauchen pflegte. Die erhaltenen Werte können deshalb als mit dem natürlichen Schwimmen gut übereinstimmend betrachtet werden, wo der Schwimmer sozusagen die für ihn am besten passende Geschwindigkeit aufgesucht hat. Im folgenden wird dies als „frei gewählte Geschwindigkeit" bezeichnet. In denjenigen Fällen, wo die Geschwindigkeit (in der Tab. 9) nicht als frei gewählt bezeichnet wird, wurde auf Wunsch des Versuchsleiters eine andere Geschwindigkeit gebraucht.

Die Tab. 9 gibt eine Übersicht der erwähnten Versuche.

---

[1] *Bioch. Zeitschr.* 1912. Bd. XXXVIII. S. 129.

[2] *Bioch. Zeitschr.* 1914. Bd. LXIII. S. 170.

Tabelle 9.

Brustschwimmversuche bei verschiedenen Versuchspersonen.

Versuchsperson	Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens (m pro Min.)	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft % CO_2	Exspirationsluft % O_2	CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom	Bemerkungen
T. G.	16./7.	2·4	21·0	—	21·6	4·82	14·82	1032	1395	0·74	ll	
		2·3	22·4	—	20·8	5·08	14·65	1050	1377	0·76	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
	13./7.	2·1	24·8	18·0	21·1	5·31	14·76	1110	1353	0·82	ll	
		1·5	34·0	28·0	37·2	5·28	15·77	1949	1912	1·02	ll	
H. K.	20./7.	2·8	18·3	29·2	23·9	4·09	16·04	969	1222	0·79	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
		1·8	29·1	28·6	30·7	4·04	16·44	1227	1417	0·87	ll	Sehr unruhig.
	13./7.	1·5	35·0	41·1	44·2	5·19	15·77	2278	2282	1·00	ll	
J. R.	20./7.	3·2	16·0	20·1	28·4	3·92	17·17	1102	1060	1·04	ll	
	14./7.	2·7	19·0	20·8	26·4	3·86	17·09	1008	1014	1·00	ll	
	20./7.	2·4	21·0	24·0	32·0	4·22	16·60	1337	1398	0·96	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
	14./7.	2·1	25·0	22·9	31·9	4·12	16·425	1302	1473	0·88	ll	
S. R.	16./7.	2·1	24·9	19·0	22·2	5·23	14·72	1149	1435	0·80	ll	
		1·8	28·2	18·2	24·4	4·885	15·205	1182	1453	0·81	ll	
	13./7.	1·7	29·8	16·4	30·5	5·00	15·09	1513	1852	0·82	ll	
		1·6	31·1	22·5	24·6	4·95	14·81	1209	1586	0·76	ll	
A. W.	25./7.	1·8	28·0	22·0	38·3	4·27	16·43	1619	1749	0·93	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
		1·5	34·7	32·6	31·5	4·35	15·99	1358	1610	0·84	ll	
A. H.	20./7.	2·2	23·7	29·3	19·6	4·76	16·31	927	901	1·03	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
		2·1	23·9	29·5	15·2	4·89	15·42	736	863	0·85	ll	
E. S.	20./7.	1·7	32·0	23·2	26·6	4·57	15·61	1206	1472	0·82	ll	
		1·6	32·2	24·6	25·9	5·11	15·44	1312	1449	0·91	ll	
		1·5	33·3	23·5	25·0	5·09	15·21	1263	1476	0·86	ll	Frei gewählte Geschwindigkeit.
		1·5	34·7	25·8	22·9	5·68	14·69	1293	1467	0·88	ll	

Betreffs des Verhaltens des Atmungsmechanismus fanden sich bei einigen Versuchspersonen Abweichungen von den früher erwähnten: bei H. K. und A. H. zeigte sich nämlich regelmäßig, daß Inspirationen bei jedem zweiten und Exspirationen bei jedem darauf folgenden Schwimmstoß eintraten. Die Atmungsfrequenz ist deshalb hier halb so groß wie die Zahl der Schwimmstöße. Beim ersten Versuch bei A. W. (Geschwindigkeit 28 m pro Minute) wurden 35·7 Atemzüge pro Minute gemacht, während gleichzeitig die Zahl der Schwimm stöße nur 22 pro Minute war. Es ist möglich, daß die Versuchsperson in irgendeiner Weise beunruhigt wurde und deshalb nicht die Atmung wie gewöhnlich einstellte, wie das im folgenden Versuch der Fall war. Die hohe Atmungsfrequenz im erstgenannten Versuch ist an und für sich bemerkenswert. In allen übrigen Fällen geschah die Atmung in demselben Rhythmus wie die Schwimmstöße. (Versuche mit S. R., die in anderem Zusammenhange von Liljestrand und Lindhard ausgeführt wurden, zeigten — bei größerem O_2-Verbrauch als in unseren Versuchen — eine Atmungsfrequenz, die halb so groß wie die Zahl der Schwimmstöße war.)

Betrachtet man die Atmungsfrequenz näher, so findet man, daß sie bei den Versuchspersonen T. G., J. R. und A. W. ziemlich schnell, jedoch nicht ganz so schnell wie bei G. L., bei derselben Geschwindigkeit ist. Die beiden Versuchspersonen, die ihre Atmungsfrequenz den Schwimmstößen gegenüber halbiert haben, haben eine auffallend schnelle Frequenz der Schwimmstöße (etwa wie G. L.). Es macht den Eindruck, daß eine Art Anpassung eingetreten ist, damit keine unbequem hohe Frequenz eintritt. Die jetzt entstehende Frequenz wird sogar etwas niedriger als bei N. S. Zwei der untersuchten Versuchspersonen S. R. und E. S., machen offenbar lange Schwimmstöße und erhalten eine Atmungsfrequenz, die derjenigen bei N. S. nahekommt.

Für die Ventilation gelten im großen gesehen dieselben Verhältnisse, die früher erwähnt wurden. In einem Falle, nämlich bei J. R., zeigt sich schon bei langsamer und mäßiger Geschwindigkeit eine ziemlich beträchtliche Überventilation, wie der deutlich erhöhte Quotient zeigt. Es mag hierzu die Mitteilung gemacht werden, daß J. R. offenbar von den Versuchen sehr angestrengt wurde (am 20./7. sah er sich genötigt, während einiger Stunden nach dem Versuch auszuruhen). In einigen anderen Fällen, wo ein hoher Quotient gefunden wurde, ist eine psychische Einwirkung in hohem Grade wahrscheinlich. So bei A. W. in dem oben erwähnten Versuche, ferner im Versuch mit H. K.

bei einer Geschwindigkeit von 35 m pro Minute, wobei dieser sehr unruhig war.

Um einen Vergleich zwischen dem O_2-Verbrauch der verschiedenen Fälle zu erleichtern, geben wir die Ergebnisse in Fig. 4 wieder, wo die

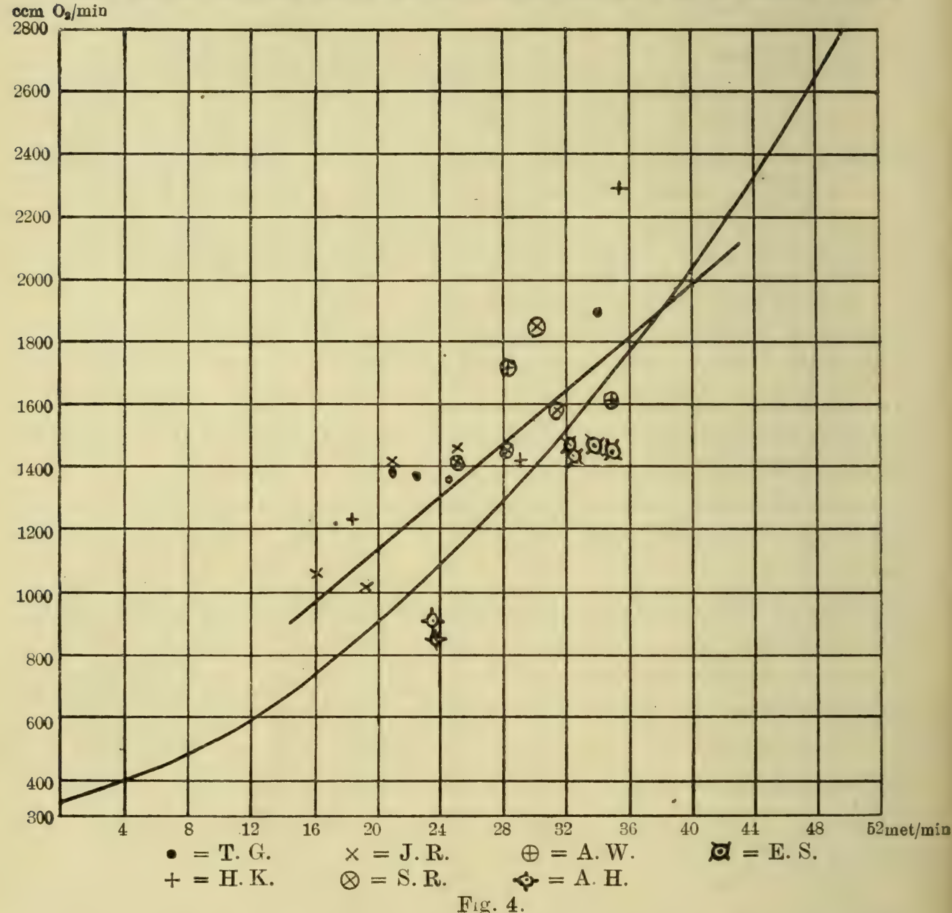


Fig. 4.

Kurven für N. S. und G. L. auch eingezeichnet wurden. Wir betrachten zuerst die männlichen Versuchspersonen, d. h. die fünf ersten der Tab. 9. Für T. G. liegen sämtliche Werte nicht unwesentlich höher als die Kurve für G. L. So scheint das Schwimmen an T. G. noch größere Anforderungen als an G. L. zu stellen. Auch für S. R. ist anzunehmen, daß der O_2-Verbrauch sich etwas, jedoch ziemlich wenig höher als bei G. L. hält. Für H. K. liegen die beiden Werte bei geringer Geschwindigkeit auf beiden Seiten der Kurve für G. L.; bei der höheren

Geschwindigkeit wurde ein wesentlich größerer O_2-Verbrauch gefunden. Dieser Versuch scheint indessen wegen früher angegebener Ursachen weniger wertvoll. Auch für J. R. scheinen etwas höhere Werte vorzuliegen als für G. L. Die zwei Versuche bei A. W. weichen so stark voneinander ab, daß sichere Schlußfolgerungen kaum gezogen werden können. Vermutlich ist der Wert bei der größten Geschwindigkeit der zuverlässigste. Der O_2-Verbrauch bei G. L. ist also, wie man aus dem Vergleich mit N. S. leicht glauben könnte, nicht besonders unvorteilhaft. Eher ist er im Verhältnis zu den Werten bei T. G. und J. R. relativ klein. Auffallend ist im Vergleich zu den übrigen der geringe O_2-Verbrauch bei N. S bei langsamem und mäßig schnellem Schwimmen. Vor allem tritt dies hervor, wenn man bedenkt, daß sein Körpergewicht wesentlich größer ist als das der übrigen.

Mit den weiblichen Versuchspersonen liegen in dem einen Falle zwei, in dem anderen vier untereinander sehr gut übereinstimmende Versuche vor. Es ist auffallend, daß sämtliche Werte für den O_2-Verbrauch in diesen Fällen entschieden niedriger liegen als die Kurven sowohl für G. L. wie auch für N. S. Die Möglichkeit, daß dies ein Zufall ist, ist wohl nicht ausgeschlossen; wir werden aber im folgenden (II. Kapitel) die Gründe anführen, die unserer Ansicht nach dafür sprechen, daß beim Weibe die Bedingungen für das Schwimmen verhältnismäßig günstig sind.

Diejenige Geschwindigkeit, die die verschiedenen Versuchspersonen bei ruhigem Schwimmen („frei gewählte Geschwindigkeit") anzuwenden pflegen, variiert wie ersichtlich, bedeutend (für N. S. und G. L. sind die entsprechenden Werte etwa 35 bzw. 25 m pro Minute). Wahrscheinlich wird diese Geschwindigkeit so bestimmt, daß der entsprechende O_2-Verbrauch in einem gewissen Verhältnis zum O_2-Verbrauch dieser Person bei maximaler Leistung während der vorhandenen Umstände steht. In dem Anpassen der Geschwindigkeit nach dem Maße der Körperkräfte sowie in der Fähigkeit, die Wasserkälte aushalten zu können, liegen nach unserer Ansicht die wichtigsten Bedingungen für ausdauerndes Schwimmen. Die erstgenannte Fähigkeit kann durch Übung erworben werden, die letztere kaum in wesentlichem Grade. (Vgl. doch Durig und Lodes[1] Versuche an Hunden.)

4. Einige Versuche mit Brustschwimmen auf größere Entfernungen.

Die im vorigen mitgeteilten Versuche sind sämtlich von kurzer Dauer. Wir haben indessen auch eine kleine Anzahl Versuche — sämt-

[1] *Archiv f. Hygiene.* 1901. Bd. XXXIX. S. 46.

liche mit Brustschwimmen — auf größere Entfernungen ausgeführt, nämlich an den früher genannten Bahnen von 2300 bzw. 420 m. Im ersteren Falle drehte die Bahn nach 725 m in beinahe rechtem Winkel ab und ging an einer Inselspitze vorbei, wobei die Zeit notiert wurde. Es wurden also hierbei zwei voneinander unabhängige Bestimmungen der Geschwindigkeit während des Versuches erhalten, nämlich sowohl für die ersten 725 m wie die letzten 1575 m. Wir meinen, daß die betreffenden Versuche einer etwas ausführlichen Erwähnung wert sind, da sie den tatsächlichen Verhältnissen beim Dauerschwimmen gut zu entsprechen scheinen und außerdem gewissermaßen als Kontrolle der kurzdauernden Versuche dienen können.

N. S. schwamm die längste Bahn zweimal, die unten referiert werden.

10./7. So gut wie vollkommen ruhig. Gewicht der Versuchsperson vor dem Schwimmen 90·7 kg, Temp. 37·4° (vielleicht etwas hoch wegen vorhergehender Arbeit zum Versuch). Rote Blutkörperchen pro Kubikmillimeter (2 Rechn.) 5400000.

Zeit in Min. vom Beginn des Schwimmens	Dauer der Probeentnahme (Min.)	Geschwindigkeit (Mittel) Meter pro Min.	Schwimmstöße pro Minute	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft % CO_2	Exspirationsluft % O_2	CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
0—3	—	38·1								Keine Probeentnahme.
3—8	5		21·0	40·9	4·10	16·23	1660	1992	0·83	
8—18	10		20·6	35·7	4·12	16·22	1455	1740	0·84	
18—19	—									Keine Probeentnahme. Die Inselspitze wird 19 Min. nach Beginn passiert
19—29	10	37·5	21·5	36·2	4·11	16·30	1474	1731	0·85	
29—33	—									Keine Probeentnahme.
33—43	10		21·2	30·6	4·20	16·00	1271	1567	0·81	
43—53	10		20·3	29·7	4·16	15·93	1222	1551	0·79	
53—61	8		20·3	31·4	4·18	15·93	1302	1645	0·79	

Pulsfrequenz, unmittelbar nach dem Schwimmen, im Wasser bestimmt, 76. Temp. 36·8°. Rote Blutkörperchen (3 Rechn.) 5·300·000. Im Harn kein Eiweiß. Im Mittel wird der O_2-Verbrauch während der ersten Strecke 1824 ccm, während der letzten 1622 ccm pro Minute.

30./7. Mäßiger Wind und Strom, während der ersten Strecke gerade gegen den Schwimmer gerichtet, während der letzten Strecke von der Seite. Gewicht vor dem Versuch 90·75 kg, Temp. 37°. Rote Blutkörperchen (2 Proben) 5·480·000.

Zeit in Min. vom Beginn des Schwimmens	Dauer der Probeentnahme (Min.)	Geschwindigkeit (Mittel) Meter pro Min.)	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
					% CO_2	% O_2				
0—3	—									Keine Probeentnahme.
3—7	4	39·2	21	40·4	4·25	16·14	1703	1998	0·85	
7—15	8		23	45·0	4·54	15·92	2024	2316	0·87	
15—25	10		20·7	40·0	4·55	15·78	1800	2123	0·85	Die Inselspitze wird 18·5 Min. nach dem Beginn passiert.
25—35	10		21	36·7	4·58	15·69	1665	1992	0·84	
35—45	10	39·9	20	36·3	4·53	15·73	1630	1956	0·83	
45—56	11		20·3	40·1	4·46	15·82	1772	2120	0·84	
56—58	—		—							Keine Probeentnahme.

Pulsfrequenz unmittelbar nach dem Schwimmen 96, Gewicht 90·4 kg, Temp. 37·5°, rote Blutkörperchen (2 Proben) 5·290·000. Im Harn kein Eiweiß. O_2-Verbrauch während der ersten Strecke im Mittel 2190 ccm, während der letzten 2043 ccm pro Minute.

Diese beiden Versuche zeigen eine bemerkenswerte Regelmäßigkeit, was wahrscheinlich mit der bedeutenden Trainierung der Versuchsperson auch für längere Strecken zusammenhängt. Im Versuch vom 10./7. war das Schwimmen immer gleichmäßig und ruhig. Die Intensität in der Arbeit — der O_2-Verbrauch — und die Schwimmgeschwindigkeit sinken etwas während des späteren Teiles der Bahn, um in der Nähe des Zieles wieder zu steigen. Die erhaltenen Mittelwerte für den O_2-Verbrauch fallen unwesentlich niedriger aus als die entsprechenden Werte der Fig. 3. Wahrscheinlich findet bei langdauerndem Schwimmen eine solche Einstellung statt, daß die Bewegungen nach und nach beinahe automatisch ausgeführt werden und jede unnötige Bewegung in höherem Grade vermieden wird, als dies in kurzdauernden Versuchen der Fall sein wird. Ein etwas niedrigerer Wert für den O_2-Verbrauch bei den langdauernden Versuchen scheint deshalb nicht überraschend zu sein. Im Versuch vom 30./7. ist teils die Geschwindigkeit größer als im vorigen Falle, teils waren dabei Wind und Strom etwas hinderlich. Am deutlichsten wird dies während der ersten Strecke, wenn beide dem Schwimmer gerade entgegengerichtet waren. Auch kommt hier der mittlere O_2-Verbrauch etwas oberhalb der Kurve. Für die letzte Strecke hat dies vermutlich eine geringe Bedeutung gehabt und wird wahrscheinlich von den oben erwähnten Verhältnissen (Automatie usw.) kompensiert. Der mittlere O_2-Verbrauch fällt auf die Kurve.

In dem letzten Versuche wurde eine Gewichtserniedrigung von 0·35 kg festgestellt (in dem ersten wurde ein Wiegen nach dem Versuche nicht ausgeführt). Zu einem wesentlichen Teil beruht sie offenbar auf verbranntem Material; irgendein größerer Flüssigkeitsverlust kann nicht eingetreten sein, und die Blutkörperchenrechnungen zeigen nachher überhaupt keine relative Vermehrung (die Senkung dürfte im Bereich der Fehlergrenzen liegen). Da N. S. sich so gut wie täglich etwa eine Stunde im Wasser aufhielt, haben wir in der Regel eine sehr mäßige Gewichtssenkung (0·1 bis 0·2 kg, einmal vorher 0·35 kg) feststellen können. Die Körpertemperatur ist im allgemeinen während dieser Zeit mit 0·6° bis 0·7° gesunken. Dies gilt auch für den Versuch vom 10./7. Der letzte langdauernde Versuch mit seinem großen Umsatz zeigt das bei Dauerschwimmen nicht gewöhnliche Verhalten[1], daß die Körpertemperatur deutlich — um 0·4° — erhöht wurde. Der Harn war in den beiden erwähnten Versuchen wie in allen zahlreichen Fällen, wo er nach dem Schwimmen bei N. S. untersucht wurde, frei von Eiweiß. (Bei einigen der übrigen Versuchspersonen, vor allem T. G., konnte bisweilen nach anstrengenden kurzdauernden Schwimmtouren Eiweiß im Harn nachgewiesen werden.)

Von G. L. finden sich zwei Versuche auf der kürzeren Bahn (420 m). Während die Proben bei den Versuchen an N. S in der Regel ohne Pausen nacheinander folgten, wurden hier regelmäßig 0·5 bis 1 Minute zwischen den Proben mit der Probeentnahme eingehalten.

14./7. Ruhiges Wetter. Gewicht vor dem Schwimmen 51·5 kg. Zeit zum Schwimmen 16·2 Minuten.

Dauer der Probeentnahme (Min.)	Geschwindigkeit (Mittel) (Meter pro Min.)	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$
			% CO_2	% O_2			
5	25·9	31·8	4·21	16·15	1324	1565	0·84
3		26·9	4·12	16·07	1098	1365	0·81
3		27·4	4·18	16·25	1134	1320	0·86
3		28·2	4·29	16·11	1197	1399	0·86

Gewicht nach dem Versuch 51·35 kg. Kein Eiweiß. Mittel des O_2- Verbrauchs 1436 ccm pro Minute.

24./7. Schwacher Gegenwind. Temp. der Versuchsperson 36·6°. Zeit zum Schwimmen 24 Minuten (zwischen den Proben etwa 2 Minuten).

[1] Vgl. Maurel, *C. R. de la Soc. de Biol.* 1914. T. LXXVI. p. 712.

Dauer der Probeentnahme (Min.)	Geschwindigkeit (Mittel) (M. pro Min.)	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation (L. pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$
				% CO_2	% O_2			
3	17·5		18·6	3·22	16·83	590	806	0·73
5		33	21·5	3·72	16·61	790	964	0·82
5		29	24·8	3·50	16·78	858	1074	0·80
3			37·4	3·60	17·11	1332	1456	0·92

Temp. nach dem Versuch < 35·8, Pulsfrequenz unmittelbar nach dem Schwimmen 92. Mittel des O_2-Verbrauchs 1061 ccm pro Minute.

Während der Versuch vom 14./7. einen ziemlich gleichmäßigen O_2-Verbrauch zeigt, hat im Versuch vom 24./7. der Schwimmer sehr vorsichtig begonnen, die Geschwindigkeit aber nach und nach gesteigert. Da aber bei G. L. der O_2-Verbrauch direkt proportional zur Schwimmgeschwindigkeit zunimmt, ist es nicht unberechtigt, auch in diesem Falle das Mittel des O_2-Verbrauchs **zu** nehmen und mit demjenigen Wert zu vergleichen, der bei derselben mittleren Geschwindigkeit in den kurzdauernden Versuchen erhalten wurde. Beide Werte stimmen gut mit der Kurve.

Auch S. R. schwamm die kleinere Bahn bei einer Gelegenheit.

24./7. Schwacher, guter Wind. Temp. der Versuchsperson vor dem Schwimmen 37·2°. Zeit zum Schwimmen 13·5 Minuten. (Vor der ersten Probe 3 Minuten, zwischen den Proben 2 Minuten.)

Dauer der Probeentnahme (Min.)	Geschwindigkeit (Mittel) (M. pro Min.)	Schwimmstöße pr. Min.	Ventilation (L. pro Min.)	Exspirationsluft		CO_2Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$
				% CO_2	% O_2			
5	31·1	23	30·9	5·40	15·10	1656	1842	0·90
2		24	27·8	5·20	15·00	1435	1704	0·84

Temp. nach dem Schwimmen 37·1°. Mittel des O_2-Verbrauchs 1803 ccm, d. h. ein etwas höherer Wert als bei den kurzdauernden Versuchen.

5. Einige Versuche mit verschiedenen Schwimmarten und Schwimmen mit Kleidern.

An der Versuchsperson N. S. haben wir einige Versuche mit verschiedenen Schwimmarten sowie mit Kleidern ausgeführt, um fest-

zustellen, inwieweit dadurch irgendeine wesentliche Einwirkung auf die Größe des Umsatzes beobachtet werden konnte. In der Regel pflegt man vier verschiedene Hauptarten des Schwimmens zu unterscheiden, nämlich Brustschwimmen, Rückenschwimmen, Seitenschwimmen und Handüberhandschwimmen. Das Brustschwimmen und Rückenschwimmen sind allgemein bekannt und brauchen nicht näher charakterisiert zu werden. Betreffs des letzteren darf erwähnt werden, daß dabei die Arme entweder mit einer Wurfbewegung über der Wasserfläche hinter den Kopf geführt und dann gestreckt werden oder auch durch das Wasser etwas über Schulterhöhe geführt werden. Bei unseren Versuchen war das letztere der Fall. Mit Seitenschwimmen meint man die Schwimmart, wo der Körper die ganze Zeit Seitenlage im Wasser (gewöhnlich auf der rechten Seite) hat. Jeder Arm und jedes Bein führt seine besondere Bewegung aus. Der obere Arm (d. h. im allgemeinen der linke) wird entweder über die Wasserfläche („Überhandschlag") oder durch das Wasser („Seitenschwimmen" in beschränktem Sinne) geführt und dann in einem Bogen durch das Wasser zurückgezogen. Während des Zurückziehens des oberen Armes wird der unten liegende durch das Wasser vorwärts geschoben, um dann seinerseits durch das Wasser zurückgezogen zu werden, während der obere Arm vorwärts gebracht wird. Von den Beinen wird das obere in Hüft- und Kniegelenk gebeugt und dann wie beim Ersteigen einer Treppe vorwärts geführt. Gleichzeitig wird das untere Bein nach hinten geführt und auch im Kniegelenk gebeugt. Durch eine kräftige und gleichzeitige Bewegung werden dann die Beine — gleichzeitig mit oder etwas vor dem Zurückführen des oberen Armes — zur Ausgangslage zusammengebracht. (Die Beinbewegung, die an den Gang erinnert, wird „Scheren" genannt.) Bei unseren Versuchen wurden sowohl Seitenschwimmen in beschränktem Sinne als auch mit Überhandschlag gebraucht.

Handüberhandschwimmen endlich wird durch Brustschwimmlage ausgezeichnet, wo beide Arme wechselweise über die Wasserfläche geführt werden. Man unterscheidet Trudgeon, wo ein Beinstoß, entsprechend demjenigen bei Seitenschwimmen, auf jeden zweiten Armstoß kommt, und Kriechstoß, wo Arme und Beine voneinander unabhängig arbeiten. Hierbei werden die Oberschenkel gestreckt gehalten, während die Unterschenkel kleine stoßende Bewegungen ausführen. Unsere Versuche umfassen nur Trudgeon.

Die hierher gehörenden Versuche werden in der Tab. 10 wiedergegeben.

Tabelle 10.

Versuche mit verschiedenen Schwimmarten. Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens (Meter pro Min.)	Schwimmstöße pro Min.	Ventilation (Liter pro Min.)	Exspirationsluft % CO_2	Exspirationsluft % O_2	CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom	Schwimmart
26./7.	2·2	23·1	18·1	17·6	4·49	15·36	784	1034	0·76	*v*	Rückenschwimmen
28./7.	1·7	26·4	15·0	21·1	4·90	14·63	1024	1407	0·73	*l*	
25./7.	1·8	28·3	16·7	21·3	4·77	14·98	1006	1334	0·76	*ll*	
28./7.	1·5	28·9	18·3	25·3	4·85	15·26	1219	1495	0·82	*l*	
25./7.	1·8	29·0	17·6	24·1	4·74	15·37	1132	1395	0·81	*ll*	
25./7.	1·6	32·3	19·6	30·8	4·73	15·84	1444	1601	0·90	*ll*	
24./7.	1·6	32·5	25·4	36·5	4·34	15·66	1567	2016	0·78	*ll*	
26./7.	1·4	35·4	24·3	35·1	4·60	15·53	1601	1974	0·81	*v*	
11./7.	1·4	35·7	25·2	39·1	4·02	15·93	1556	2060	0·76	*ll*	
12./7.	1·3	38·6	26·5	30·7	4·76	13·99	1449	2312	0·63	*vv*	Seitenschwimmen (ohne Überhandschlag)
12./7.	1·3	38·9	25·2	28·8	4·73	14·21	1352	2091	0·65	*vv*	
9./7.	1·3	40·1	26·0	47·6	3·77	16·23	1774	2359	0·75	*ll*	Seitenschwimmen (mit Überhandschlag)
9./7.	1·2	43·6	29·1	37·9	4·67	15·10	1754	2330	0·75	*ll*	
24./7.	1·2	41·1	22·6[1]	37·7	4·82	14·86	1801	2415	0·75	*ll*	Trudgeon
11./7.	1·2	41·4	22·8	40·6	4·09	15·94	1643	2125	0·77	*ll*	
11./7.	1·1	48·6	24·8	55·0	4·47	16·27	2437	2596	0·94	*ll*	
11./7.	1·1	49·5	26·7	52·9	4·08	16·01	2137	2724	0·78	*ll*	

[1] Für Trudgeon wird die Zahl der Beinstöße angegeben.

Ein Vergleich mit den Brustschwimmversuchen zeigt betreffs Atemfrequenz (auch hier ist diese gleich der Zahl der Schwimmstöße), der Tiefe der Atemzüge wie auch des respiratorischen Quotienten, im großen gesehen, keinen Unterschied. Eine Ausnahme scheinen die beiden Versuche mit Seitenschwimmen (ohne Überhandschlag) zu bieten, wo im Verhältnis zum hohen Umsatz niedrige Ventilation und niedriger Quotient aus unbekannter Ursache (vorhergehender Auswaschung bei dem kräftigen Winde?) erhalten wurden.

Was den O_2-Verbrauch betrifft, findet man bei einem näheren Vergleich mit der Fig. 3, daß er bei Rückenschwimmen am ehesten unwesentlich höher als beim Brustschwimmen ist. Jedoch wäre zweifelsohne eine wesentlich größere Zahl von Versuchen notwendig, um einen etwaigen Unterschied sicher zu ermitteln. Weder Seitenschwimmen noch Trudgeon scheinen sichere Unterschiede gegenüber dem Brustschwimmen darzubieten. Die Vermehrung bei den Versuchen mit Seitenschwimmen dürfte durch äußere Verhältnisse (Wind!) genügend erklärt werden. Trotz der geringen Versuchszahl dürfte man behaupten können, daß bei der untersuchten Versuchsperson wenigstens keine bedeutendere Änderung des O_2-Verbrauchs bei Änderung der Schwimmart erhalten wird. Es wäre gewiß von Interesse, auf diesem Punkte mehrere Versuchspersonen zu haben; denn es läßt sich sehr wohl denken, daß hierbei wesentliche individuelle Verschiedenheiten vorkommen. Es darf indessen auch daran erinnert werden, daß die Angemessenheit einer gewissen Schwimmart, z. B. beim schnellen Schwimmen, zum Teil von der Möglichkeit bedingt werden kann, daß relativ große Muskelmassen dabei in Wirksamkeit kommen können.

Bei den Versuchen mit Brustschwimmen mit Kleidern hatte N. S. Schwimmtracht, Hemd, Hosen, Strümpfe, Stiefel und Laboratoriumsmantel an. Gewicht mit Kleidern 92·7 kg, Temp. vor dem Schwimmen 37·1°.

Tabelle 11.

Versuche mit Brustschwimmen in Kleidern. Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Dauer d. Versuchs (Min.)	Geschwindigkeit des Schwimmens (M. pro Min.)	Schwimmstöße pr. Min.	Ventilation (L. pro Min.)	Exspirationsluft % CO_2	Exspirationsluft % O_2	CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Wind und Strom
27./7.	2·0	25·5	22·0	36·0	4·02	15·77	1433	1970	0·73	*l*
27./7.	1·8	28·0	22·5	41·2	3·90	16·13	1589	2079	0·76	*l*
27./7.	1·8	28·3	23·9	37·7	4·14	15·96	1546	1961	0·79	*l*
27./7.	1·7	30·2	25·4	49·1	4·57	15·79	2224	2602	0·86	*l*

Nach dem Schwimmen (44 Minuten Aufenthalt im Wasser) war die Temp. 37·2°.

Die Versuche stimmen untereinander gut überein und zeigen sämtlich eine sehr wesentliche Steigerung des Umsatzes (sowie auch der Frequenz und der Ventilation), wenn man sie mit den Brustschwimmversuchen ohne Kleider vergleicht. Für den O_2-Verbrauch findet man eine Steigerung, die zwischen 48 und 82 Proz. variiert; im Mittel beträgt sie 64 Proz. — Die Temperatur ist, wie ersichtlich, um 0·1° gestiegen, vermutlich sowohl wegen des hohen Umsatzes als wegen des Kälteschutzes der Kleider.

Kapitel II.

Beobachtungen über den Widerstand bei der Bewegung des Körpers durch das Wasser.

Die Beobachtungen, von denen wir im I. Kapitel, Abt. 2 und 3, berichtet haben, dürften deutlich zeigen, daß der Gaswechsel beim Schwimmen sehr bedeutende individuelle Verschiedenheiten sowohl mit Rücksicht auf die absoluten Werte bei einer gewissen Geschwindigkeit als auch betreffs der Einwirkung von Änderungen der Geschwindigkeit zeigt.

Um diese Verhältnisse näher beurteilen zu können, kam es uns wünschenswert vor, wenigstens approximative Kenntnis von der Kraft zu haben, die erforderlich ist, um den Körper bei verschiedenen Geschwindigkeiten durch das Wasser zu bewegen. Es ist zu erwarten, daß die Größe des Umsatzes, den man bei einer gewissen Geschwindigkeit findet, von zwei verschiedenen Faktoren abhängen muß, nämlich teils von der eben erwähnten Kraft, teils von der Art der Schwimmbewegungen. In dem Maße, wie der Körper einen größeren Widerstand gegen die Bewegung bietet, muß der Umsatz bei im übrigen gleichen Verhältnissen wachsen. Außerdem muß aber der mehr oder weniger zweckmäßige Charakter der Schwimmbewegungen bei konstantem Widerstand von großer Bedeutung werden und für denselben Umsatz verschiedene Wirkung haben.

R. du Bois-Reymond hat in seiner früher zitierten Arbeit einige Versuche gemacht, um den Widerstand des Körpers bei der Bewegung im Wasser unter Verhältnissen zu messen, die sich denjenigen beim Schwimmen einigermaßen nähern. Die Versuchsperson — in Brustschwimmlage — war durch ein Seil mit einem im hinteren Teil eines

Ruderbootes aufgestellten Dynamometers verbunden und wurde mit einer Geschwindigkeit von 59 m pro Minute vorwärts gezogen. Dabei verlor das Boot nach jedem Ruderschlage beinahe vollständig die Fahrt, so daß die Bewegung der Versuchsperson stoßweise geschah, etwa wie beim Schwimmen. Der Dynamometer zeigte dabei im Mittel 7 kg mit kleinen Schwankungen (von etwa 1 kg) während des Ruderschlages. Bei Rückenlage wurde bei einer Geschwindigkeit von 54·4 m pro Minute nur 4 kg und bei der Geschwindigkeit 72 m pro Minute 7 kg angezeigt.

Bei unseren Versuchen zogen wir es vor, diejenige Kraft zu bestimmen, die erforderlich ist, um die Versuchsperson mit konstanter Geschwindigkeit durch das Wasser zu ziehen. Zwar werden hierbei die Verhältnisse ziemlich verschieden von denjenigen beim Schwimmen — wie du Bois-Reymond hervorhebt, wird der Widerstand gewiß geringer bei konstanter Geschwindigkeit als bei der sehr unregelmäßigen Bewegung beim Schwimmen —; da aber auch nicht die von du Bois-Reymond verwendete Methode befriedigende Übereinstimmung in dieser Hinsicht geben dürfte, bot jedoch die einfachere Methode mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gewisse Vorteile. Es galt nämlich vor allem, Anhaltspunkte für einen Vergleich zwischen verschiedenen Versuchsindividuen zu erhalten, und dazu schien uns dies Verfahren überlegen.

Der Schwimmer hielt in den zusammengeführten Händen ein kleines Korkstück, das mit einem Seil verbunden war. Dies ging durch einen Block und weiter zu einer Winde. Der Block war mit Hilfe einer genau kalibrierten Federwage an einer Wand befestigt. Nachdem die Versuchsperson abgeschwommen war, so daß sich das Seil streckte, wurde sie vermittelst der Winde mit konstanter Geschwindigkeit ans Land gezogen. Die Geschwindigkeit wurde mit Stoppuhr und Marken in dem Seil, die auf je 10 m angebracht waren, bestimmt; die Zeitbestimmungen geschahen bei der Passage der Marken durch den Block. Nach Abzug des Wertes für das Seil, in mehreren Versuchen bestimmt, gab der Rest des an der Federwage abgelesenen Gewichtes den doppelten Wert des Widerstandes. In der Regel wurden mehrere Bestimmungen unmittelbar nacheinander ausgeführt. Da mit der Winde sehr gleichmäßige Geschwindigkeit erzielt werden konnte, wurden die Schwankungen an der Wage gewöhnlich sehr klein (0·25 kg). Für den Widerstand wurden folgende Werte (sämtlich bei ruhigem Wetter) erhalten:

Tabelle 12.

Die zum Ziehen des Körpers durch das Wasser mit konstanter Geschwindigkeit erforderliche Kraft:

Versuchsperson	Brustschwimmlage				Rückenschwimmlage				Bemerkungen
	Geschwindigkeit		Kraft		Geschwindigkeit		Kraft		
	M. pro Min.	Relativ	kg	Relativ	M. pro Min.	Relativ	kg	Relativ	
N. S.	27·2	100	2·0	100	33·3	100	1·8	100	
	30	110	2·3	115	40	120	2·6	144	
	40	147	3·5	175	42·8	128	2·7	150	
	42·7	157	4·0	200					
	46	169	4·0	200					
G. L	28·5	100	2·0	100	34·5	100	1·3	100	
	31·5	110	2·3	115	37·5	109	1·8	138	
	37	130	2·5	125	40	116	1·8	138	
	55—60	200	3·5	175	45·3	132	3·2(?)	246	
H. K.	21 6	100	4·0	100					Lage nicht gut. Die Beine sanken stark herunter.
	27·3	126	3·8	95					
	30	139	4·5	113					
	35	162	4·3	112					Lage gut.
J. R.	30	100	2·7	100					
	34·3	114	3·2	119					
	38·3	127	3·2	119					
S. R.	33·3	100	2·0	100	30	100	1·5	100	
	34·1	102	2·2	110	40	133	2·7	180	
	35·3	106	2·3	115	44·4	148	2·8	187	
	46	138	3·3	165					
	50	147	3·4	170					
A. W.	26·5	100	3·2	100					
	27·2	102	3·5	110					
N. S.	31·6	100	4·2	100					Brustschwimmlage mit Kleidern.
	37·5	119	4·7	112					

Unseres Erachtens bieten die angeführten Zahlen, trotz der Mängel, mit den sie zweifelsohne behaftet sind, jedoch von mehreren Gesichtspunkten aus ein gewisses Interesse. Man findet nun zuerst, wenn man den Widerstand der verschiedenen Versuchspersonen bei Brustschwimmlage und mäßiger Geschwindigkeit betrachtet, daß ziemlich beträchtliche Unterschiede vorhanden sind. Die Hydrodynamik hat erwiesen, wie zahlreich die Faktoren sind, die einen Einfluß auf den Widerstand ausüben, wenn ein Körper durch das Wasser geführt wird. Man kann zwischen Druck- (oder Form-) Widerstand, der im wesentlichen von der rechtwinklig gegen die Bewegungsrichtung dargebotenen Fläche (Stirn-

fläche) abhängt, und Reibungs- (oder Rest-)Widerstand, der von der Größe der benetzten Fläche überhaupt, jedoch auch von der Form des Körpers, abhängt, unterscheiden. Da, wie es hier der Fall ist, der Körper zum Teil über die Wasserfläche geführt wird, kommt noch ein Wellenwiderstand hinzu. Es ist während dieser Verhältnisse kaum möglich, mehr als einen groben Approximativwert über die zu erwartende Änderung des Widerstandes bei verschiedenen Umständen zu erhalten. Für die kleinen Geschwindigkeiten, von denen hier die Rede ist, dürfte indessen angenommen werden, daß der totale Widerstand annäherungsweise proportional der Stirnfläche und dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen wird (vgl. z. B. Schleppversuche mit prismatischen Körpern von Engels und Geber[1]). Beim ersten Anblick konnte deshalb vielleicht erwartet werden, daß man bei derselben Geschwindigkeit den größten Widerstand bei der schwersten Versuchsperson (N. S.) finden und dann eine Reihe haben sollte, wo der Widerstand mit sinkendem Körpergewicht in gesetzmäßiger Weise abnehmen sollte. Der Ausgangspunkt dieses Schlusses wäre, daß angenommen werden konnte, daß die Körperflächen der verschiedenen Versuchspersonen sich approximativ zueinander wie die Kubikwurzel der Quadrate der Körpergewichte verhielten. Ein Blick auf die Tab. 12 zeigt indessen, daß eine solche Gesetzmäßigkeit durchaus nicht erhalten wird. Die schwerste Versuchsperson (N. S.) zeigt bei der erwähnten Geschwindigkeit Werte, die nur wenig von denjenigen bei den viel leichteren Versuchspersonen G. L. und S. R. abweichen. Und für diese zwei findet man trotz eines nicht unwesentlichen Gewichtsunterschiedes (24 Proz.) etwa dieselben Werte, während J. R., dessen Gewicht zwischen dem dieser beiden liegt, einen wesentlich größeren Widerstand bietet. Für H. K. und A. W. werden dagegen — in Übereinstimmung mit dem größeren Gewicht — bedeutend höhere Werte erhalten. Die Erklärung der geschilderten Verschiedenheiten dürfte unseres Erachtens darin zu suchen sein, daß die Fläche, die sich rechtwinklig gegen die Bewegungsrichtung bietet, für die verschiedenen Versuchspersonen nicht als zur gesamten Körperoberfläche proportional angenommen werden kann. Die Stirnfläche wird nämlich in hohem Grade von der Lage, die der Körper im Verhältnis zur Bewegungsrichtung einnimmt, abhängig. Für N. S. galt es, daß schon bei der erwähnten mäßigen Geschwindigkeit die Beine ziemlich hoch getrieben wurden, wodurch seine Stirnfläche und damit

---

[1] *Schiffbau.* 1907/08. Bd. IX. S. 201 u. 243.

sein Widerstand relativ klein wurden. Für G. L. dagegen kamen die Beine bei derselben Geschwindigkeit ziemlich tief, woraus ein verhältnismäßig großer Widerstand folgen dürfte. In wahrscheinlich noch höherem Grade war dies mit J. R. und vor allem mit H. K. der Fall. Der letztere hatte den bestimmten Eindruck, daß die Beine bei ihm während der Schleppversuche tiefer heruntersanken als beim gewöhnlichen Schwimmen. Sämtliche übrigen Versuchspersonen dagegen waren der Ansicht, daß die Verhältnisse hierbei bei den Schleppversuchen und beim Schwimmen ziemlich gleich waren.

Man findet ferner, daß der Widerstand zwar mit der Geschwindigkeit regelmäßig wächst — mit Ausnahme für H. K., wo eine Steigerung wahrscheinlich, aber unsicher und jedenfalls unregelmäßig ist. Der Widerstand nimmt aber nicht dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional zu, sondern wesentlich langsamer. Die wahrscheinliche Erklärung dieses Verhaltens scheint uns zu sein, daß der Körper bei den größeren Geschwindigkeiten nach und nach eine immer günstigere Lage erhielt, indem die Beine, wie sämtliche Versuchspersonen an sich beobachteten, höher getrieben wurden, wodurch eine Verminderung der Stirnfläche eintrat. Hiermit stimmen einige andere Verhältnisse gut überein. Der Widerstand steigt bei zunehmender Geschwindigkeit wesentlich schneller bei N. S. als bei der Mehrzahl der übrigen Versuchspersonen, was auch zu erwarten ist, weil nämlich N. S. schon bei geringer Geschwindigkeit eine relativ günstige Lage der Beine hat. Bei S. R. ist aber die relative Steigerung des Widerstandes etwa dieselbe wie für N. S. innerhalb der untersuchten Grenzen. S. R. war zweifelsohne diejenige der Versuchspersonen der Tab. 12, die N. S. betreffs günstiger Lage der Beine am nächsten kam. Für die übrigen Versuchspersonen findet man, daß ein im Verhältnis zur Körpergröße hoher Wert des Widerstandes bei geringer Geschwindigkeit vor allem bei H. K., dann bei J. R. und zuletzt bei G. L. erhalten wird. Die relative Zunahme des Widerstandes erfolgt auch am langsamsten bei H. K. — wo sie ja nicht ganz sicher ist —, dann kommt J. R., und etwas schneller geht sie bei G. L.

In den untersuchten Fällen werden auch — wie auch du Bois-Reymond fand — in Rückenlage bei einer gewissen Geschwindigkeit durchgehends niedrigere Werte für den Widerstand als bei Brustschwimmlage erhalten. Vor allem gilt dies von G. L. und S. R., wo bei der Brustschwimmlage relativ höhere Werte als bei N. S. erhalten wurden. Die relative Zunahme des Widerstandes bei vermehrter Geschwindig-

keit geschieht auch bei Rückenlage durchgehends schneller als bei Brustschwimmlage.

Es fragt sich dann, wo die Ursache für die jetzt erwähnten Verhältnisse zu suchen ist. Gewiß liegt sie in der verschiedenen Körperkonstitution der Versuchspersonen. Die Lage des Körpers in Wasser bei Ruhe wird von der gegenseitigen Lage des Schwerpunktes des Körpers und des Schwerpunktes der Deplacements — d. h. der verdrängten Wassermenge — bestimmt.[1] Bei Gleichgewicht sind diese so eingestellt, daß ihre Verbindungslinie, die sogenannte Schwimmlinie, vertikal steht. Sollte nämlich die Schwimmlinie nicht mit der Richtung der Schwere zusammenfallen, so wirkt die Schwere in dem Schwerpunkt nach unten, während der Auftrieb im Schwerpunkt des Deplacements in entgegengesetzter Richtung preßt. Es entsteht also ein Kräftepaar, das danach strebt, den Körper zu drehen, bis die obenerwähnte Gleichgewichtsbedingung erfüllt ist. Gewöhnlich zeigt sich bei Brustschwimmlage eine Neigung zum Herabsinken der Beine im Verhältnis zum übrigen Körper. Dies zeigt, daß bei horizontaler Lage auf dem Bauche im Wasser der Schwerpunkt in der Regel rückwärts vom Deplacementszentrum liegen muß. Bei Rückenlage ist diese Neigung gewöhnlich weniger ausgesprochen, wahrscheinlich, weil der Kopf — nur teilweise unter Wasser — relativ weit nach hinten kommt, woraus eine Verschiebung kranialwärts des Schwerpunktes resultiert. Noch mehr wird dies der Fall sein, wenn die spezifisch schweren oberen Extremitäten nach oben gestreckt werden. Die Bedingungen für Gleichgewicht werden dann günstig, auch wenn die Beine nahe der Wasserfläche ausgestreckt sind.

Verschiedene Größe der beiden erwähnten Kräfte sowie verschiedene gegenseitige Lage ihrer Angriffspunkte bewirken für verschiedene Versuchspersonen sehr verschiedene Verhältnisse. Von Gewicht sind hierbei u. a. die Entwicklung des Knochengerüstes, die Ansammlung von Fett, der Luftgehalt der Lungen sowie auch die relative Länge der Beine. Eine magere Person mit relativ kräftigem Knochengerüst wird eine relativ ungünstige Schieflage im Wasser erhalten. Bei reichlicher Fettanhäufung der unteren Gliedmaßen treiben diese dagegen im Verhältnis zum übrigen Körper leichter nach oben. Aber auch eine allgemeine Korpulenz oder große Luftmenge in den Lungen dürfte bis-

[1] Vgl. R. du Bois-Reymond in Wintersteins *Handb. d. vergleich. Physiol.* 1914. Bd. III: 1, S. 138.

weilen in derselben Richtung wirken können, u. a. in der Weise, daß ein größerer Teil der Schultergegend über das Wasser kommt, wodurch das Deplacementszentrum in kaudaler Richtung verschoben wird. Als Beispiel einer Versuchsperson mit kräftigem Knochengerüst und ungünstiger Lage aus dieser Ursache erwähnen wir H. K., während bei N. S. wegen kräftiger Entwicklung des subkutanen Fettes, vor allem in der unteren Körperhälfte, besonders günstige Verhältnisse entstehen.

Auch unter dem Einfluß einer vorwärts treibenden Kraft wird im großen gesehen, dasselbe Verhältnis herrschend, mit dem Unterschied, daß diese Kraft eine gewisse Änderung der Schieflage bewirken kann und ihr dadurch zum Teil von dem erwähnten Kräftepaar entgegengewirkt wird.

Unsere Auseinandersetzungen wurden den Schleppversuchen angeschlossen, und diese können ja nicht, wie früher erwähnt wurde, ohne weiteres mit dem Schwimmen verglichen werden. Es kann aber unserer Ansicht nach kein Zweifel darüber sein, daß, im großen gesehen, ähnliche Verhältnisse wie die geschilderten auch beim Schwimmen vorhanden sind. Es konnte leicht beobachtet werden, daß z. B. G. L. und noch mehr J. R. beim Schwimmen die Beine wesentlich tiefer hatten als N. S., sowie auch, daß gesteigerte Schwimmgeschwindigkeit von verminderter Schieflage gefolgt wurde.

Zu dem Nachteil, der die Schieflage durch die Vermehrung des Widerstandes mit sich bringt, kommt noch, daß die Kraft bei den Schwimmstößen der Beine schief nach oben gerichtet wird. Nur die horizontale Komponente wirkt dabei vortreibend; die vertikale dagegen hebt den Körper und kann dadurch gewissermaßen einen Zuschuß zu dem in diesen Fällen oft geringen Auftrieb geben.

Es scheint uns, daß die geschilderten Unterschiede der Versuchspersonen von wesentlicher Bedeutung bei der Erklärung ihres Verhaltens betreffs des respiratorischen Gaswechsels sein muß. Bei N. S. mit relativ niedrigem Widerstand bei mäßigen Geschwindigkeiten, neben einer zweckmäßigen Anbringung der Kraft bei den Beinstößen, werden auffallend niedrige Werte für den Gaswechsel gefunden. Wenn dann die Geschwindigkeit steigt (über etwa 30 m), so steigt auch der Widerstand schnell, und Ähnliches gilt für den respiratorischen Gaswechsel. G. L. zeigt etwa denselben Widerstand bei mäßiger Geschwindigkeit; wegen der Schieflage wird aber die Kraft weniger effektiv angebracht. Die Folge ist neben hoher Frequenz der Schwimmstöße

größerer O_2-Verbrauch als bei N. S. Dagegen nehmen sowohl Widerstand als O_2-Verbrauch wesentlich langsamer zu. J. R. zeigt noch größeren Widerstand und auch größeren O_2-Verbrauch als G. L., während die Verhältnisse bei S. R. — es kamen bei den Respirationsversuchen nur Geschwindigkeiten von etwa 30 m pro Minute in Frage — denjenigen bei G. L. ziemlich gleich waren (jedoch nicht so große Schieflage). Auch bei H. K. und A. W. scheinen die wenigen Bestimmungen gut mit den angeführten Gesichtspunkten übereinzustimmen. Eine relativ hohe Frequenz der Schwimmstöße scheint die Regel zu sein, wenn der Widerstand im Verhältnis zum Körpergewicht groß ist.

In den Versuchen bei N. S. mit Kleidern wurde eine wesentliche Vermehrung des Widerstandes erhalten; dasselbe galt für den Umsatz. Etwas unerwartet ist, daß für N. S. beim Rückenschwimmen nicht niedrigerer O_2-Verbrauch als beim Brustschwimmen erhalten wurde, obgleich der Widerstand bei Rückenlage kleiner war. Man muß sich aber vergegenwärtigen, daß die Zweckmäßigkeit der Bewegungen bei den verschiedenen Lagen mit hineinspielen kann. In unseren Versuchen wurden ja die oberen Gliedmaßen durch das Wasser zur Streckstellung geführt, was sicherlich wenig ökonomisch ist. Bei G. L., dessen Widerstand bei Rückenlage wesentlich niedriger als bei N. S. war, wären zweifelsohne Respirationsversuche bei Rückenschwimmen wünschenswert.

Leider hatten wir nicht Gelegenheit, den Widerstand im Wasser für die beiden weiblichen Versuchspersonen zu bestimmen. Es dürfte indessen als höchst wahrscheinlich bezeichnet werden können, daß in der Regel die schwächere Entwicklung des Knochengerüstes und die bedeutende Anhäufung von subkutanem Fett, speziell an der unteren Körperhälfte, sowie auch die relative Kürze der unteren Extremitäten beim Weibe günstig wirken müssen, indem die Beine nahe der Wasserfläche zu liegen kommen. (Man findet auf S. 12, daß unsere weiblichen Versuchspersonen bei etwa demselben Gewicht wie bei dreien von den männlichen, aber geringerer Körperlänge, einen Brustumfang zeigen, der niedrig ist, wenn man bedenkt, daß auch die Mammadrüsen eingerechnet werden.) An und für sich dürfte dies dahin wirken, daß während entsprechender Verhältnisse ein niedrigerer Umsatz beim Weibe als beim Manne beim Schwimmen entsteht. Weitere Untersuchungen über diesen Punkt dürften von Interesse sein.

Kapitel III.

Blutdruck und Pulsfrequenz beim Schwimmen.

Eine Einwirkung des Schwimmens sowohl auf Blutdruck als auf Pulsfrequenz dürfte a priori als sehr wahrscheinlich betrachtet werden können. Teils bringt das Wasser durch den Kältereiz Kontraktion oberflächlicher Gefäße hervor, teils führt es auch in rein hydrodynamischer Hinsicht geänderte Verhältnisse mit sich. So haben Erlanger und Hooker[1] beim Hineinbringen zweier Versuchspersonen in ungeänderter Körperstellung in indifferentes Bad eine mäßige Erhöhung sowohl des Minimal- wie des Maximaldruckes erhalten. Auch Stigler[2] hat bei entsprechenden Verhältnissen eine Erhöhung des (maximalen) Druckes mit 13 bis 16 mm Hg erhalten. (Vgl. auch die Tierversuche von Kuno.[3]) Für kalte Bäder teilt Hill[4] mit, daß der (maximale ?) Druck auf 20 mm Hg steigen kann, wenn aber die Versuchsperson vollkommen ruhig ist, geht nach ihm der Druck zum normalen Ruhewert zurück. Beim Schwimmen dürfte zu den erwähnten Faktoren diejenige Wirkung kommen, die von der Arbeit an und für sich verursacht wird. Nach Tierversuchen von Tangl und Zuntz[5] ruft die Arbeit eine Steigerung des Blutdruckes hervor, ein Verhalten, das mit gewissen Einschränkungen auch für den Menschen gültig sein dürfte (bei nicht zu lange dauernder kräftiger Arbeit). Erlanger und Hooker fanden, daß mäßige Muskelarbeit (Gehen) den Minimaldruck erniedrigen kann, während kräftigere Muskelarbeit sie hebt. In beiden Fällen steigen Pulsdruck und Pulsfrequenz.

Ein paar Blutdruckmessungen nach anstrengendem Schwimmen (Wettschwimmen) haben Jundell und Fries[6] mitgeteilt, die den Maximumdruck maßen und bedeutend erhöht fanden. (Bei der Diskussion scheinen sie die ganze Erhöhung als Effekt der Muskelarbeit anzunehmen.)

Durch das Messen von Blutdruck und Pulsfrequenz teils bei Ruhe am Lande (auf dem Rücken liegend, Vorperiode wenigsten 15 Minuten),

---

[1] *The Johns Hopkins Hosp. Rep.* 1904. Bd. XII. S. 145.

[2] *Fortschr. d. naturw. Forsch.* 1913. Bd. IX. S. 133.

[3] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1914. Bd. CLVIII. S. 555.

[4] *Journ. of physiol.* 1897/98. Vol. XXII. Proc. XXVI—XXIX.

[5] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1898. Bd. LXX. S. 544.

[6] *Nord. med. Ark.* 1911. Avd. II. Nr. 2, 4 u. 7.

teils bei Ruhe im Wasser (Brustschwimmlage), teils auch unmittelbar nach (d. h. innerhalb 10 Sekunden nach dem Aufhören des Schwimmens), haben wir es versucht, einerseits die Bedeutung der Abkühlung und des Wasserdrucks, andererseits die des Schwimmens an und für sich festzustellen. Auch diese Versuche wurden sämtlich im nüchternen Zustande ausgeführt.

Die Schwimmversuche wurden in einem Bassin ausgeführt, wo die Temperatur wegen der Jahreszeit und der lokalen Verhältnisse zwischen 11° und 13° variierte. Die Ruheversuche im Wasser haben wir teils in dem erwähnten Bassin, teils in einer Badewanne ausgeführt; im letzteren Falle ruhte die Versuchsperson auf einem unter dem Bauch angebrachten Gurt. Die Temperatur war hierbei 13° bzw. 17° bis 20°.

Die Blutdruckmessung schien uns während des Schwimmens selbst, d. h. während die Arme in stetiger Bewegung sind und die Muskelkontraktionen den Druck in der Manschette beeinflussen, nicht möglich, so wünschenswert es auch sein konnte. Großes Gewicht muß indessen darauf gelegt werden, daß die Druckmessung so bald wie möglich nach dem Aufhören des Schwimmens stattfindet, indem der Druck gewiß schnell von dem während der Arbeit erhaltenen Werte geändert werden kann (vgl. Hill). Wir haben es deshalb so angeordnet, daß höchstens etwa 10 Sekunden vom Aufhören des Schwimmens bis zur Fertigstellung der Druckmessung betreffs des Maximaldruckes und noch 10 bis 20 Sekunden betreffs des Minimaldruckes verflossen. Hinsichtlich der Methodik zur Blutdruckmessung schien uns die auskultatorische Methode bei den gegebenen Verhältnissen zu schwierig zu applizieren und allzu zeitraubend. (Nach einer Äußerung von Jundell und Fries, a. a. O. S. 97, scheint die auskultatorische Methode hierbei zur Bestimmung des Minimaldruckes auch nicht brauchbar.) Besser war die oszillatorische, vor allem, wenn so angeordnet, daß graphische Registrierung stattfand. Zu diesem Zweck benutzten wir ein größeres, empfindliches, sorgfältig kalibriertes, elastisches Manometer, das uns von Professor A. V. Sahlstedt gütigst zur Verfügung gestellt wurde. Das Manometer wie die Luftpumpe waren mit der breiten Armmanschette vereinigt. Die Pulse wurden auf einer Trommel registriert, wobei auch die Zeit in Sekunden markiert wurde. Nach bekannten Prinzipien (vgl. z. B. Erlanger) wurde der Maximaldruck erhalten, wenn die Pulse bei sinkendem Drucke eine plötzliche Vergrößerung der Amplitude zeigten, und der Minimaldruck, wenn sie von der maximalen Amplitude zu sinken begannen.

Die Aufstellung von Manometer und Registrierapparat erforderte eine feste Unterlage, die unmittelbar über der Wasserfläche geschaffen wurde. Um unnötigen Zeitverlust beim Aufsetzen der Manschette zu vermeiden, mußte der Schwimmer sie vor dem Inswassergehen an seinem Arme anbringen; unmittelbar vor dem Schwimmen wurde sie in gewöhnlicher Weise mit dem Manometer und der Pumpe vereinigt. Es war nun offenbar notwendig, daß sich der Schwimmer nur eine ganz kurze Strecke vom Manometer entfernte. Wir gebrauchten deshalb eine von Liljestrand und Lindhard angegebene Methode; der Schwimmer hatte um den Leib einen Gurt, von dem ein Seil nach hinten und dann durch einen Block ging, der 3 bis 4 m hinter dem Schwimmer befestigt war. Das freie Ende des Seiles trug ein Gewicht, dessen Größe der gewünschten Arbeit abgepaßt wurde. Bei jedem Schwimmstoß wurde das Gewicht gehoben; bei der darauffolgenden Pause wurde der Schwimmer zur Ausgangslage zurückgezogen. In Respirationsversuchen mit dem Douglassack oder der Gasuhr und dem Mischungsbehälter direkt (Vorperiode immer mehrere Minuten) wurde der respiratorische Gaswechsel bei verschiedenen Belastungen bestimmt.

Während die Versuchsperson noch beim Schwimmen war, wurde Luft in die Manschette gepumpt, und das Schwimmen wurde erst abgebrochen, wenn der Druck daselbst über den maximalen Blutdruck gestiegen war. Durch geeignete Leckage in der Leitung wurde nun der Druck erniedrigt, während der Schwimmer den Arm gegen ein Brett im Wasser ruhen ließ und sich auch im übrigen ruhig verhielt. Hierbei sanken die Beine hinab, bis sie zuletzt am Boden des etwa 1 m tiefen Bassins Stütze erhielten. Vor der Blutdruckmessung war das Schwimmen regelmäßig mehrere Minuten (wenigstens 4 bis 5, in einigen Versuchen, bei N. S., sogar bis 20 Minuten) im Gange gewesen.

An den Kurven wurde die Pulsfrequenz pro 10 Sekunden von dem Zeitpunkte ab bestimmt, wo der Maximaldruck geschrieben wurde. Daß derjenige Fehler, der von der Ausführung dieser Bestimmung unmittelbar nach, statt während des Schwimmens ziemlich wenig bedeutend gewesen ist, wird bei einem Vergleich mit der Pulsfrequenz während der 10 Sekunden, die denjenigen bei der eigentlichen Rechnung gebrauchten am nächsten folgten, wahrscheinlich. Bei den höchsten Frequenzen dürfte der Wert vielleicht 3 bis 5 Pulse pro Minute zu niedrig werden.

In den Tab. 13 und 14 geben wir die Werte wieder, die wir bei den Versuchspersonen N. S. und G. L. erhalten haben. Auch bei G. L.

Tabelle 13.

Blutdruck und Pulsfrequenz. Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Art des Versuchs	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsdruck	Pulsfrequenz pro Min.
22./9.	Ruhe im Lande	140	87		73
24./9.	,, ,, ,,	135	—		80
24./9.	,, ,, ,,	130	76		76
27./9.	,, ,, ,,	140	95		78
28./9.	,, ,, ,,	130	90		81
18./10.	,, ,, ,,	110	85		62
18./10.	,, ,, ,,	110	85		71
19./10.	,, ,, ,,	118	85		73
22./10.	,, ,, ,,	140	105		69
25./10.	,, ,, ,,	128	104		75
25./10.	,, ,, ,,	125	98		76
	Mittel	128	91	37	74
28./9.	Still im Bassin	145	105		89
28./9.	,, ,, ,,	150	105		90
	Mittel	147·5	105	42·5	89·5
19./10.	Liegend in der Badewanne (13°)	145	95		78
19./10.	,, ,, ,, ,, (13°)	136	105		73
	Mittel	140·5	100	40·5	75·5
18./10.	Liegend in der Badewanne (19°)	132	98		66
18./10.	,, ,, ,, ,, (19°)	140	90		72
19./10.	,, ,, ,, ,, (17°)	133	105		60
19./10.	,, ,, ,, ,, (17°)	130	100		61
19./10.	,, ,, ,, ,, (17°)	135	100		61
19./10.	,, ,, ,, ,, (17°)	135	100		62
22./10.	,, ,, ,, ,, (20°)	145	112		63
22./10.	,, ,, ,, ,, (20°)	155	—		72
22./10.	,, ,, ,, ,, (20°)	150	—		66
	Mittel	139	101	38	65
28./9.	Schwimmen, Belastung 2 kg	145	105		105
28./9.	,, ,, ,,	155	110		103
	Mittel	150	107·5	42·5	104
22./9.	Schwimmen, Belastung 3 kg	>150	105		102
22./9.	,, ,, ,,	152	99		95
24./9.	,, ,, ,,	155	90		—
24./9.	,, ,, ,,	150	95		—
24./9.	,, ,, ,,	—	100		—
29./9.	,, ,, ,,	148	105		89
29./9.	,, ,, ,,	143	105		97
29./9.	,, ,, ,,	145	102		102
	Mittel	149	100	49	95

(Fortsetzung.)

Versuchs-tag	Art des Versuchs	Maximal-druck mm Hg	Minimal-druck mm Hg	Puls-druck	Puls-frequenz pro Min.
27./9.	Schwimmen, Belastung 4 kg	160	105		108
27./9.	,, ,, ,,	160	—		114
27./9.	,, ,, ,,	155	105		102
	Mittel	158	105	53	109
27./9.	Schwimmen, Belastung 5 kg	170	105		119
27./9.	,, ,, ,,	170	—		117
27./9.	,, ,, ,,	160	—		115
27./9.	,, ,, ,,	150	—		110
27./9.	,, ,, ,,	158	105		105
	Mittel	162	105	57	113

Tabelle 14.

Blutdruck und Pulsfrequenz. Versuchsperson: G. L.

Versuchs-tag	Art des Versuchs	Maximal-druck mm Hg	Minimal-druck mm Hg	Puls-druck	Puls-frequenz pro Min.
1./10.	Ruhe im Lande	115	82		54
1./10.	,, ,, ,,	120	88		52
2./10.	,, ,, ,,	115	85		52
2./10.	,, ,, ,,	110	83		56
4./10.	,, ,, ,,	105	80		53
5./10.	,, ,, ,,	105	85		45
5./10.	,, ,, ,,	105	82		48
	Mittel	111	84	27	51·4
5./10.	Ruhe im Bassin	135	100		54
5./10.	,, ,, ,,	138	95		57
	Mittel	136·5	97·5	39	55·5
4./10.	Schwimmen, Belastung 2 kg	145	95		91
4./10.	,, ,, ,,	142	92		90
	Mittel	143·5	93·5	50	90·5
1./10.	Schwimmen, Belastung 3 kg	138	90		114
1./10.	,, ,, ,,	140	98		111
	Mittel	139	94	45	112·5
2./10.	Schwimmen, Belastung 4 kg	145	88		132
2./10.	,, ,, ,,	155	100		130
	Mittel	150	94	56	131

wurden eines Tages einige Versuche über den Blutdruck bei Ruhe in Wasser verschiedener Temperatur ausgeführt; da sich aber die Versuchsperson an diesem Tage nicht ganz wohl fühlte (man vergleiche auch die Ruhewerte am Lande!), schien es uns nicht richtig, sie in der Tab. 14 mit aufzunehmen. Sie werden hier gesondert mitgeteilt.

Versuchstag	Art des Versuchs	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsdruck	Pulsfrequenz pro Min.
25./10.	Ruhe im Lande	120	95	25	49
	,, ,, ,,	125	100	25	49
	,, ,, Wasser (13°)	150	120	30	47
	,, ,, ,, (13°)	150	110	40	—
	,, ,, ,, (20°)	148	—	—	48
	,, ,, ,, (20°)	155	—	—	—
	,, ,, ,, (20°)	155	112	43	54

Über den respiratorischen Gaswechsel, der den verschiedenen Belastungen entspricht, gibt die Tab. 15 Auskunft.

Tabelle 15.

Respirationsversuche bei gleichzeitigen Blutdruckmessungen.

Versuchsperson	Versuchstag	Dauer d. Versuchs (Min.)	Art des Versuchs	Ventilation L. pro Min.	Exspirationsluft % CO_2	Exspirationsluft % O_2	CO_2-Abgabe (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$
N. S.	28./9.	2·0	Ruhe im Bassin	8·09	4·00	16·19	317	399	0·79
	28./9.	2·0	Schwimmen, Belastung 2 kg	21·9	4·12	15·92	885	1149	0·77
	24./9.	5·0[1]	Schwimmen, Belastung 3 kg	28·3	4·25	15·99	1187	1468	0·81
	22./9.	5·0[1]	Schwimmen, Belastung 3 kg	27·5	4·28	15·63	1163	1532	0·76
	26./9.	3·0[1]	Schwimmen, Belastung 4 kg	36·2	5·05	15·33	1810	2081	0·87
	27./9.	1·2	Schwimmen, Belastung 5 kg	48·9	4·11	16·26	1968	2359	0·83
G. L.	5./10.	2·0	Ruhe im Bassin	13·2	3·61	16·77	465	567	0·82
	4./10.	1·5	Schwimmen, Belastung 2 kg	34·0	4·14	16·74	1380	1435	0·96
	8./10.	1·0	Schwimmen, Belastung 3 kg	38·9	4·13	16·81	1576	1607	0·98
	8./10.	1·0	Schwimmen, Belastung 4 kg	58·2	4·10	17·34	2341	2015	1·16

[1] Die Exspirationsluft wurde in diesen Versuchen durch Gasuhr und Mischungsbehälter geleitet.

Die nähere Prüfung der Blutdruckmessungen bei N. S. zeigt gute Übereinstimmung zwischen den Ruheversuchen im Bassin und in der Badewanne, wenn man die etwas verschiedenen Ausgangswerte bei den betreffenden Ruheversuchen am Lande berücksichtigt. Wasser von 13° zeigt keinen sicheren Unterschied gegenüber solchem von 17° bis 20°. Nimmt man das Mittel sämtlicher Ruheversuche im Wasser, so erhält man einen Maximaldruck von 141 und einen Minimaldruck von 101 mm Hg. Der Maximaldruck zeigt also eine Steigerung von 13 mm, der Minimaldruck von 10 mm gegenüber den Ruheversuchen am Lande, und der Pulsdruck ist also höchst unbedeutend (3 mm) gestiegen. Bei mehreren Gelegenheiten (z. B. 19./10. und 22./10.) ist die Versuchsperson ziemlich lange im Wasser gewesen, ehe die Blutdruckmessung ausgeführt wurde (am 22./10. etwa 15 Minuten), und zwischen den verschiedenen Versuchen eines Tages sind mehrere Minuten verflossen. Bei keiner Gelegenheit haben wir indessen die Angabe Hills bestätigen können, daß der Blutdruck im Wasser allmählich zum Ausgangswert am Lande zurückkehrt.

Während der Einwirkung der Schwimmarbeit steigen sowohl Maximal- wie Minimaldruck noch mehr gegenüber den Ruhewerten im Wasser. Die Erhöhung des Minimaldrucks ist ziemlich unbedeutend (höchstens etwa 6 mm), während sie für den Maximaldruck erheblich ist. Schon bei einer sehr mäßigen Schwimmarbeit, entsprechend einem O_2-Verbrauch von 1100 bis 1200 ccm pro Minute, ist er so 9 mm über den Ruhewert im Wasser gestiegen. Bei Verstärkung der Schwimmarbeit sieht man einen auffallenden Zusammenhang zwischen der Höhe des Blutdruckes und der Größe der Arbeit. Je größer der O_2-Verbrauch, je größer wird, im großen gesehen, der Maximaldruck und — da der Minimaldruck die ganze Zeit ja wenig vom Ruhewerte im Wasser geändert wird — auch der Pulsdruck. Während dieser also bei Ruhe am Lande 37 mm und bei Ruhe im Wasser 40 mm ist, findet man für die vier verschiedenen Serien beim Schwimmen mit steigendem O_2-Verbrauch im Mittel die Werte 42·5, 49·5 und 57 mm.

Die Pulsfrequenz zeigt bei Ruhe im Wasser von 17° bis 20° einen augenfällig niedrigeren Wert als bei Ruhe am Lande. Daß dies nicht auch bei den Versuchen im kälteren Wasser der Fall war, beruht gewiß teils auf der kürzeren Vorperiode (28./9.), teils auf der Schwierigkeit, hierbei ganz ruhig zu sein. Während des Schwimmens steigt sie, im großen gesehen, mit steigendem Umsatz.

Die Blutdruckmessungen bei G. L. (Tab. 14) zeigen in der Haupt-

sache ähnliche Ergebnisse wie bei N. S. Die Wirkung des Wassers an und für sich vermehrt auch hier sowohl Maximaldruck wie Minimaldruck beträchtlich; für beide ist jedoch die Wirkung kräftiger als bei N. S. Dies gilt vor allem von dem Maximaldruck, weshalb auch eine erhebliche Steigerung des Pulsdruckes (von 27 bis etwa 40 mm Hg) resultiert. Die Versuche vom 25./10. (vgl. S. 52) zeigen etwa gleich kräftige Wirkung des Wassers von 20° wie desjenigen von 13°. Es ist sehr wohl möglich, daß die größere Steigerung bei G. L. zum Teil auf Muskelarbeit durch das Frieren beruht. (Vgl. den O_2-Verbrauch!) Während der Schwimmversuche hält sich auch hier der Minimaldruck so gut wie konstant, während der Maximaldruck und der Pulsdruck eine Steigerung zeigen, im großen gesehen parallel der Arbeitssteigerung. (Der maximale Pulsdruck beträgt 56 mm.) Die Pulsfrequenz zeigt auch hier die gewöhnliche Steigerung während der Arbeit. Die Möglichkeit, daß quantitative Verschiedenheiten bei verschiedenen Arbeitsformen vorliegen können, kann noch nicht diskutiert werden, weil dazu ein großes Material nötig ist.

Kapitel IV.

Über die Größe der Atmungsarbeit beim Schwimmen.

Daß die Atmungsarbeit beim Schwimmen oder Aufenthalt im Wasser überhaupt als wesentlich mehr anstrengend empfunden wird als bei einer annähernd gleich großen Ventilation am Lande, dürfte eine ziemlich allgemeine Erfahrung sein. Die Erklärung hierzu liegt offenbar in dem extrathorakalen Überdruck, der eine Folge des Aufenthaltes im Wasser ist. Hierdurch wird die Inspiration mehr oder weniger erschwert; was die Exspiration betrifft, dürfte der vermehrte äußere Druck dahin wirken, daß sie schneller vor sich geht als im allgemeinen, wenn dies nicht durch aktive Maßnahmen vom Organismus verhindert wird. Wir haben bei mehreren Gelegenheiten die Atemzüge während des Bades (in Brustschwimmlage) mit Spirometer registriert und sie mit Versuchen während derselben Bedingungen, aber ohne Wasser, verglichen. In der Regel haben wir aber keine relative Verkürzung der Exspirationszeit im Bade erhalten; es scheint uns deshalb nicht ausgeschlossen zu sein, daß auch betreffs der Exspirationen eine Vermehrung der Arbeit bei Aufenthalt im Wasser möglich sein kann, nämlich als Tonus der Inspirationsmuskulatur, der im Laufe

der Exspiration allmählich nachgibt. Vor allem dürfte etwas Ähnliches mit dem geübten Schwimmer möglich sein, wenn er sich um „das Haushalten mit dem Atem“ (Brücke, nach du Bois-Reymond zitiert) bemüht und dabei nicht selten absichtlich die Exspiration verlängert.

R. du Bois-Reymond[1] hat in seiner Arbeit besonders die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung des Wasserdrucks in der erwähnten Beziehung gerichtet. Er ist sogar der Ansicht, „daß der mechanischen Einwirkung des Wasserdrucks auf die Atmung an physiologischer Bedeutung die erste Stelle unter den Wasserwirkungen beim Schwimmen zukommt, und daß sie selbst hinter der mächtigen thermischen Einwirkung nicht zurücksteht“ (a. a. O. S. 259). Er hat auch eine Berechnung über die Größe der Vermehrung der Inspirationsarbeit, die eine Folge des Wasserdrucks wird, angestellt. „Bei jedem Atemzuge, durch den etwa 500 ccm Luft in die Lunge gebracht werden, muß die entsprechende Wassermenge aus der Umgebung der Lungen verdrängt werden. Nimmt man an, die eingesogene Luft erreiche die Tiefe von 16 cm, so ist 0·5 kg Wasser zu verdrängen, das unter 16 cm Wasserdruck steht, wozu eine Arbeit gehört, gleich der, die 0·5 kg auf 0·16 m Höhe hebt. Es sind also für jeden Atemzug 0·08 kgm Arbeit, abgesehen von der normalen Atemarbeit, zu leisten“ (a. a. O. S. 258). Pro Liter Ventilation wäre also eine Vermehrung der Inspirationsarbeit um 0·16 kgm zu erwarten. Da nun weiter du Bois-Reymond[2] davon ausgeht, daß die Atmungsarbeit während gewöhnlicher Verhältnisse auf etwa 15 kgm pro Minute bei Ruhe (8 bis 9 Liter) angesetzt werden kann, mußte also die Atmungsarbeit mit 10 Proz. in der Ruhe steigen. Diese Steigerung ist auffallend niedrig und stimmt wohl kaum mit der Empfindung vermehrter Schwierigkeit, die man bei der Atmung hat. Du Bois-Reymond hebt weiter hervor, daß die erwähnte kleine Vermehrung jedoch genügend sein dürfte, um das Schwimmen als Atemgymnastik „ersten Ranges“ bezeichnen zu können, wenn man nämlich bedenkt, daß die Atemmuskeln beim Schwimmen, auch abgesehen vom Wasserdruck, in hohem Grade angestrengt werden. Unserer Meinung nach läßt sich aber gegen diese Auseinandersetzungen folgendes einwenden. Die Atmung wird nicht nur beim angestrengten Schwimmen und daraus folgender hoher Ventilation als wesentlich anstrengender als am Lande empfunden. Auch bei sehr mäßiger Schwimmgeschwindigkeit hat man eine deutliche Empfindung hiervon,

[1] *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1905. Bd. XXIX. S. 252.

[2] *Ergebn. d. Physiol.* 1902. Bd. I. S. 402.

und bei den größten Geschwindigkeiten, die man erreicht, werden die Beschwerden außerordentlich. Wenn auch das Gefühl von Anstrengung während verschiedener Verhältnisse nicht mit der Größe des Umsatzes zusammenzuhängen scheint, dürfte es jedoch wahrscheinlich sein, daß dies bei so gleichartigen Verhältnissen, wie sie es hier sind, gewissermaßen der Fall ist. Eine Erhöhung der Atmungsarbeit um 10 Proz. dürfte aber kaum solche Beschwerden verursachen. Die von Liljestrand[1] neulich ausgeführten Bestimmungen über den Anteil der Atmungsarbeit im respiratorischen Gaswechsel haben aber Ergebnisse geliefert, die in diesem Zusammenhange von einer gewissen Bedeutung sein dürften. In der erwähnten Untersuchung wurden nämlich für die normale Atmungsarbeit in Ruhe Werte erhalten (etwa 0·3 bis 0·7 ccm O_2 pro Liter Ventilation), die rund etwa ein Zehntel der früher angenommenen Werte waren. Bei vermehrter Ventilation steigt zwar der durch die Atmungsarbeit entstandene O_2-Verbrauch approximativ parabolisch, aber noch etwa bei 50 Liter Ventilation pro Minute (Atmungsfrequenz 20 bis 30 pro Minute) wurde der O_2-Verbrauch pro Liter höchstens etwa 2 ccm im Mittel. Eine Steigerung der Atmungsarbeit mit den von du Bois-Reymond berechneten Werten (0·16 kgm pro Liter, entsprechend etwa 0·2 bis 0·3 ccm O_2) muß also eine beträchtliche relative Steigerung bei niedriger Ventilation bedeuten; bei größerer Ventilation wird zwar der relative Zuwachs nicht so groß, hier kommt aber das von du Bois-Reymond hervorgehobene Verhältnis hinzu.

Die große Bedeutung des Wasserdrucks für die Atmung während besonderer Verhältnisse wird gut von den von Haldane[2] gemachten Erfahrungen beim Tauchen beleuchtet. Wenn das Ablaßventil für diejenige Luft, die durch die Pumpen dem im Wasser aufrecht stehenden Taucher zugeführt wird, oben am Taucherhelm befestigt wurde, so war die Atmung sehr erschwert, wenn es noch ein Stück („a few inches") höher saß, war die Atmung unmöglich. Haldane führte auch aus methodologischem Gesichtspunkte interessante approximative Bestimmungen der CO_2-Abgabe in zwei Versuchen mit Tauchen aus, wo das Ventil im einen Falle unmittelbar unter dem Helme befestigt war, während es sich im zweiten in Höhe des Ohres befand. Die CO_2-Abgabe pro Minute wurde 880 bzw. 1220 ccm (0·031 bzw. 0·043 Kubikfuß), d. h. eine höchst beträchtliche Steigerung im letzten Falle. Große Fehlerquellen bewirken indessen, daß die erhaltene Zahl auch nicht

[1] *Dies Archiv.* 1918. Bd. XXXV. S. 199.

[2] *Committee on deep-water diving.* London 1907. p. 11 u. 15.

annäherungsweise ein Maß der Vermehrung in der CO_2-Produktion, die von der geänderten Atmungsarbeit verursacht wurde, abgibt.

In diesem Zusammenhange dürften auch die Untersuchungen von Stigler[1] erwähnt werden. Er fand, daß bei einem extrathorakalen Überdrucke von etwas weniger als 1 m Wasserhöhe die Atemmuskeln keine effektive Atmung zu bewirken vermochten, indem die erhaltenen Atemzüge kleiner als der schädliche Raum wurden.

Wir haben versucht, bei N. S. und G. L die Änderung im respiratorischen Gaswechsel zu bestimmen, die durch die infolge des Wasserdruckes entstandene Erhöhung der Atmungsarbeit entsteht. Die Verhältnisse wurden dabei so gewählt, daß die Vermehrung der Atmungsarbeit von etwa derselben Größe wie beim Brustschwimmen angenommen werden konnte. Das Prinzip der Methode war das von Liljestrand angegebene. Mit Hilfe verschieden langer Röhren mit einem inneren Durchmesser von 3·5 cm wurde bei der Atmung der Versuchspersonen ein extra „schädlicher Raum" bewerkstelligt, wodurch eine automatische Vergrößerung der Atemzüge erhalten wurde. Am Ende der Röhre war ein Bohrsches Ventil angebracht. Die Inspirationsluft war die äußere atmosphärische Luft; die Exspirationsluft wurde zum Douglassack geleitet, der regelmäßig sorgfältig gespült wurde, jedesmal, wenn die Zusammensetzung der Exspirationsluft durch Änderung der Ventilation geändert wurde. Am 3./11. (Versuche bei N. S.) wurde die Exspirationsluft direkt durch trockene Gasuhr und Mischungsbehälter geleitet. Sämtliche Versuche wurden mit einer Atmungsfrequenz (in vorgeschriebenem Rhythmus) von 20 pro Minute ausgeführt. Das Verhältnis zwischen Inspirations- und Exspirationszeiten war dasselbe bei den Versuchen am Lande und im Wasser. Bei N. S. wurden teils Versuche am Lande in Rückenlage (Vorperiode 1/2 Stunde vorsätzlicher Ruhe, danach außerdem während 15 Minuten Atmung mit Maske und Ventil in vorgeschriebenem Rhythmus), teils Versuche in der Badewanne ausgeführt; bei G. L. waren nur Versuche im Bade nötig, da Versuche am Lande (in sitzender Stellung) bei ihm in großer Zahl in der Arbeit von Liljestrand mitgeteilt wurden. Für die Versuche im Bade galt es, daß sie sämtlich im Wasser von 34° bis 36° und bei vorsätzlicher Muskelruhe (Fasten wie gewöhnlich) ausgeführt wurden. Die Versuchsperson ruhte, ehe sie sich ins Bad begab, mindestens eine halbe Stunde aus. Nachdem sie im Bade die vorgeschriebene Lage eingenommen hatte und, mit Maske und Ventil versehen, die

[1] *Fortschr. d. naturw. Forsch.* 1913. Bd. IX. p. 146.

vorgeschriebene Atmung begonnen hatte, verflossen etwa 30 Minuten, ehe der Versuch begann. Die Versuchsperson stützte die Ellenbogen gegen den Boden der Wanne, und das Kinn ruhte in den Händen. (Der Mund wurde so etwa an der Wasseroberfläche gehalten.) Am unteren Teil des Bauches wurde die Versuchsperson von einem Gurt gestützt. Die untere Thoraxapertur erreichte bei N. S. eine Tiefe bis zu 31 cm, die vordere Bauchwand bis 32 cm unter der Oberfläche. Bei G. L. waren die entsprechenden Zahlen 26 bzw. 27 cm. Wir bemühten uns darum, daß bei den verschiedenen Versuchen die Körperlage so genau wie möglich reproduziert werden sollte.

Die betreffenden Versuche werden in den Tab. 16, 17 und 18 mitgeteilt.

Tabelle 16.

Versuche bei Ruhe am Lande mit variierendem schädlichen Raum. Atmungsfrequenz 20 pro Minute. Versuchsperson: N. S.

Tag des Versuchs	Dauer des Versuchs (Min.)	Ventilation (Liter pro Min.)		Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Extra schädlicher Raum (ccm)
		bei 0°, 760 mm, trocken	bei 37°, vorh. Druck, feucht	% CO_2	% O_2				
3./11.	5·0	6·63	7·98	3·06	17·24	200	257	0·78	0
	5·0	6·29	7·57	3·15	17·11	196	252	0·78	0
	5·0	6·63	7·98	3·08	17·22	202	258	0·78	0
10./11.	5·0	6·74	8·28	3·07	17·30	204	256	0·80	0
	5·0	6·74	8·28	3·03	17·19	202	266	0·76	0
		Mittel	8·02				258±2·3		
3./11.	5·0	22·0	26·5	1·09	19·71	231	278	0·79	900
	5·0	21·0	25·3	1·00	19 76	202	256	0·79	900
	5·0	21·7	26·1	0·96	19·82	200	252	0·79	900
10./11.	2·0	21·9	26·9	1·09	19·70	230	281	0·82	900
	3·0	21·4	26·3	0·97	19·83	199	246	0·81	900
	3·0	21·4	26·3	1·03	19·74	212	266	0·80	900
17./11.	3·0	24·0	29·0	0·92	19·80	211	288	0·73	>900
	2·5	24·4	29·4	0·94	19·81	220	288	0·76	>900
	2·5	24·9	30·1	0·98	19·80	235	294	0·80	>900
		Mittel	27·0				269±5·3		
10./11.	2·0	32·6	40·0	0·62	20·15	189	270	0·70	1600
	2·0	31·8	39·0	0·645	20·11	192	280	0·69	1600
17./11.	2·0	35·5	42·8	0·64	20·13	213	302	0·71	>1600
	2·0	36 5	43·9	0·645	20·125	221	312	0·71	>1600
	2·0	36·9	44·5	0·655	20·16	227	299	0·76	>1600
		Mittel	42·0				293±6·3		

Tabelle 17.

Versuche im indifferenten Bade in Brustschwimmlage mit variierendem schädlichen Raum. Atmungsfrequenz 20 pro Minute. Versuchsperson: N. S.

Tag des Versuchs	Dauer des Versuchs (Min.)	Ventilation (Liter pro Min.)		Exspirationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Extra schädlicher Raum
		bei 0°, 760 mm, trocken	bei 37°, vorh. Druck, feucht	% CO_2	% O_2				
3./11.	5·0	6·75	8·12	3·02	17·27	201	259	0·78	0
	5·0	6·94	8 35	3·10	17·05	212	285	0·75	0
	5·0	6·99	8·42	3·19	17·20	220	271	0·81	0
10./11.	5·0	7·31	8·97	3·53	17·05	255	291	0·88	0
	5·0	7·27	8·92	3·57	16·87	257	305	0·84	0
	5·1	6·84	8·40	3·67	16·71	248	300	0·83	0
17./11.	5·0	6·76	8·15	3·21	17·10	214	271	0·79	0
	5·0	6·96	8·38	3·24	17·05	223	282	0·79	0
	5·1	6·96	8·39	3·24	17·16	223	273	0·82	0
		Mittel	8·46				282±5·0		
3./11.	5·0	20·9	25·1	1·14	19·50	229	317	0·72	900
	3·0	21·2	25·6	1·25	19·50	257	316	0·81	900
	4·0	21·4	25·7	1·18	19·60	244	295	0·83	900
10./11.	3·0	22·1	27·1	1·25	19·48	267	334	0·80	900
	3·0	21·8	26·8	1·27	19·48	269	330	0·82	900
	3·0	21·9	26·8	1·28	19·48	271	330	0·82	900
17./11.	2·5	26·0	31·3	1·07	19·67	267	343	0·78	>900
	2·5	25·7	30·9	1·00	19·695	246	335	0·74	>900
	2·5	25·5	30·8	1·03	19·70	253	329	0·77	>900
		Mittel	27·4				323±5·0		
10./11.	2·0	32·3	39·7	0·85	19·86	262	369	0·71	1600
	2·0	28·9	35·5	0·88	19·85	243	329	0·74	1600
		Mittel	37·6				349		
17./11.	2·0	38·7	46·7	0·66	20·10	240	345	0·70	>1600
	2·0	38·0	45·8	0·74	20·04	266	357	0·75	>1600
	2·0	38·0	45·8	0·74	20·05	266	353	0·75	>1600
		Mittel	46·1				352		

Vergleicht man die Tab. 16 und 17, so findet man bei N. S. einen ausgeprägten Unterschied in der Vermehrung des O_2-Verbrauches, die durch die Atmungsarbeit am Lande und im Wasser entsteht. Die Unterschiede sind im Wasser bei derselben Ventilationssteigerung wesentlich größer. Während nun eine Ventilationssteigerung von 8 bis 27 bzw. 42 Liter pro Minute am Lande eine Vermehrung des O_2-Verbrauchs

Tabelle 18.

Versuche im indifferenten Bade in Brustschwimmlage bei variierendem schädlichem Raume. Atmungsfrequenz 20 pro Minute. Versuchsperson: G. L.

Tag des Versuchs	Dauer des Versuchs (Min.)	Ventilation (Liter pro Min.)		Exstirpationsluft		CO_2-Abgabe (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme (ccm pro Min.)	$\frac{CO_2}{O_2}$	Extra schädlicher Raum
		bei 0°, 760 mm, trocken	bei 37°, vorh. Druck, feucht	% CO_2	% O_2				
14./11.	5·1	6·58	8·01	2·95	17·47	191	237	0·81	0
	5·1	6·66	8·11	2·94	17·45	193	242	0·80	0
	5·0	6·67	8·12	2·88	17·50	189	239	0·79	0
21./11.	5·1	5·99	7·39	3·10	17·17	183	237	0·78	0
	5·0	6·22	7·68	3·10	17·21	190	242	0·79	0
	5·0	6·04	7·45	3·11	17·10	185	243	0·76	0
		Mittel	7·79				240 ± 1·1		
14./11.	2·5	24·4	29·7	1·01	19·79	237	289	0·82	>900
	2·5	23·5	28·6	1·01	19·78	228	282	0·81	>900
	2·5	24·4	29·7	1·03	19·81	242	280	0·86	>900
21./11.	2·5	22·8	28·2	0·91	19·79	199	276	0·72	>900
	2·5	22·3	27·5	0·88	19·84	187	258	0·72	>900
	2·5	22·6	28·0	0·92	19·77	199	279	0·72	>900
		Mittel	28·6				277 ± 4·2		
14./11.	2·0	37·9	46·1	0·855	20·01	308	360	0·86	>1600
	2·0	38·8	47·3	0·82	20·05	303	353	0·86	>1600
		Mittel	46·7				357		

von 11 ± 5·8 bzw. 35 ± 6·7 ccm mit sich bringt, gibt dieselbe Ventilationssteigerung im Wasser 41 ± 7·1 bzw. 69 ccm (die letzte Zahl graphisch interpoliert). Die Differenzen liegen weit außerhalb der Fehlergrenzen. Für G. L. vergleichen wir die Werte der Tab. 18 mit den entsprechenden Werten am Lande, aus graphischer Interpolation aus der angeführten Arbeit erhalten. Während man dort für eine Ventilationssteigerung von 7·8 bis 28·6 bzw. 46·7 Liter pro Minute 20 bzw. 86 ccm O_2-Verbrauch findet, geben die Versuche im Wasser bei derselben Ventilationserhöhung 32 bzw. 117 ccm. Zweifelsohne wäre eine weit größere Zahl Versuche nötig, wenn man die Unterschiede mit Genauigkeit festzustellen wünscht. Sucht man aus den erhaltenen Unterschieden diejenige Vermehrung des O_2-Verbrauchs zu berechnen, die im Wasser pro Liter Ventilation entsteht, so findet man Werte um

0·6 bis 0·8 ccm bei G. L. und höhere bei N. S. (1·0 bis 1·6 ccm), sämtliche Werte mit ziemlich bedeutender Unsicherheit. Ein höherer Wert als der von du Bois-Reymond berechnete, ist indessen wahrscheinlich. Erstens ist die Tiefe, zu der das eingeatmete Luftvolumen durchschnittlich eindringt, in unseren Versuchen bedeutend größer (wahrscheinlich etwa 0·25 m — bei N. S. möglicherweise noch mehr). Zweitens kommt, wie oben hervorgehoben, vielleicht eine Extraarbeit der Inspirationsmuskeln während der Exspiration hinzu. Beim Schwimmen an und für sich dürften die Verhältnisse möglicherweise noch ungünstiger sein, indem man beim Beginn der Inspiration relativ tief ins Wasser gesunken ist. Im ganzen genommen scheinen unsere Bestimmungen der Umsatzsteigerung, die auf die vermehrte Atmungsarbeit im Wasser zurückzuführen ist, gut mit dem übereinzustimmen, was man aus theoretischen Gründen hätte vermuten können. Der Vergleich mit der Atmungsarbeit am Lande zeigt eine sehr bedeutende relative Steigerung im Wasser. Eine relative Vermehrung des O_2-Verbrauchs für die Atmungsarbeit von 50 Proz. auch bei ziemlich bedeutender Ventilation dürfte, nach den Bestimmungen zu urteilen, nicht unwahrscheinlich sein, vor allem, wenn man bedenkt, daß der Gebrauch eines Ventils wegen des Extrawiderstandes einen unbedeutend zu hohen Wert des O_2-Verbrauchs, speziell bei hohen Ventilationen, geben dürfte. Bei niedriger Ventilation kann der relative Zuwachs wesentlich größer werden. Für die Atemmuskulatur wird deshalb leicht genug der Aufenthalt im Wasser und vor allem das Schwimmen in hohem Grade anstrengend.

Zusammenfassung.

Die hauptsächlichsten Ergebnisse dieser Arbeit können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

Der respiratorische Gaswechsel beim Schwimmen wurde an neun Versuchspersonen unter variierenden Verhältnissen bestimmt. Bei zweien von diesen — N. S., 90 kg schwer, mit wohlentwickelter Muskulatur und mit reichlich subkutanem Fett, und G. L., 51 kg, mager und von grazilem Körperbau — wurde der Zusammenhang zwischen dem respiratorischen Gaswechsel und der Schwimmgeschwindigkeit beim Brustschwimmen in kurzdauernden Versuchen näher untersucht. Bei Geschwindigkeiten bis zu etwa 50 m pro Minute — die höchsten, die geprüft wurden — stiegen bei N. S. bei steigender Geschwindigkeit Atmungsfrequenz und Ventilation (die Frequenz von 12 bis 15

pro Minute bei etwa 15 m pro Minute bis 30 bei 50 m pro Minute, die Ventilation während entsprechender Verhältnisse von 14 bis 60 Liter pro Minute). Auch der respiratorische Quotient stieg und näherte sich bei großen Geschwindigkeiten 1. Der O_2-Verbrauch stieg gleichzeitig von 750 bis 800 ccm pro Minute bis 2800 ccm pro Minute; die Steigerung verlief schneller als nach einer Geraden. Die pro Meter Schwimmstrecke verbrauchte O_2-Menge wurde (nach Abzug des Ruhewertes in der Arbeitsstellung im Wasser) für verschiedene Schnelligkeiten berechnet (und betrug z. B. bei 20 m pro Minute 28·5 ccm, bei 50 m pro Minute 49·1 ccm, oder in cal. 138·1 bzw. 238·0).

G. L. zeigte wesentlich höhere Atmungsfrequenz und größere Ventilation als N. S. bei derselben Schwimmgeschwindigkeit (die Frequenz stieg von 25 bis 46, die Ventilation von 19·4 bis 60 Liter pro Minute während die Geschwindigkeit von 21·2 bis 41 m pro Minute vermehrt wurde). Der respiratorische Quotient stieg oft weit über 1. Der O_2-Verbrauch wuchs von 1000 bis etwa 2000 ccm pro Minute. Der Zuwachs scheint so gut wie lineär zu verlaufen. Für niedrige und mäßige Geschwindigkeiten ist der absolute O_2-Verbrauch bei G. L. größer als bei N. S. Der O_2-Verbrauch pro Meter Schwimmstrecke wurde auf 42 ccm (entsprechend 206·3 cal.) unabhängig von der Geschwindigkeit berechnet.

Ein Vergleich mit den übrigen Versuchspersonen zeigt wesentliche individuelle Verschiedenheiten (zwei weibliche Versuchspersonen zeigen einen relativ niedrigen Gaswechsel).

Versuche auf größere Entfernungen geben gute Übereinstimmung mit den kurzdauernden Versuchen.

Für verschiedene Schwimmarten wurden bei der einzigen in dieser Hinsicht untersuchten Versuchsperson (N. S.) keine sicheren Unterschiede im Gaswechsel erhalten; Schwimmen mit Kleidern gab wesentlich größeren Umsatz als ohne sie.

Bei sieben der Versuchspersonen wurde derjenige Widerstand bestimmt, der vom Körper beim Schleppen durch das Wasser mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ausgeübt wurde. Es zeigten sich dabei Verhältnisse, aus denen mit großer Wahrscheinlichkeit geschlossen werden konnte, daß die Konstitution des Körpers eine sehr große Bedeutung für die Größe des Widerstandes sowie auch für die Weise hat, in der der Widerstand bei vermehrter Geschwindigkeit des Schleppens wächst. Der Zusammenhang zwischen Widerstand und Schwimmbewegungen einerseits und dem Gaswechsel andererseits wird erörtert.

Bestimmungen des Blutdrucks unmittelbar (etwa 10 Sekunden) nach dem Aufhören des Schwimmens sowie in Ruhe im Bade zeigen, daß bei Ruhe im Bade (11° bis 20°) eine ziemlich bedeutende Vermehrung sowohl des Minimal- als noch mehr des Maximaldrucks erhalten wird. Während des Schwimmens hält sich der Minimaldruck auf etwa derselben Höhe wie bei Ruhe im Wasser, während der Maximaldruck steigt, im großen gesehen mehr, je höher der O_2-Verbrauch ist.

Die Atmungsarbeit im Wasser ist bedeutend vermehrt, vor allem wegen der Erschwerung der Inspirationen. Es wurde ein Vergleich zwischen der Vermehrung des O_2-Verbrauchs, die bei einer gewissen Ventilationserhöhung am Lande und im Wasser (Brustschwimmlage) entsteht, ausgeführt. Eine relative Vermehrung der Atmungsarbeit um 50 Proz. im Wasser bei hohen Ventilationen ist nicht unwahrscheinlich. Bei niedriger Ventilation kann die relative Steigerung erheblich größer werden.

Über das Minutenvolumen des Herzens beim Schwimmen.[1]

Von

G. Liljestrand und J. Lindhard.

(Aus der Zoologischen Station Kristineberg, Bohuslän.)

Die Einführung verhältnismäßig einfacher Methoden zur Bestimmung des Minutenvolumens des Herzens beim Menschen hat bewirkt, daß ziemlich zahlreiche Beobachtungen hierüber gesammelt worden sind. Während der letzten Jahre wurde in mehreren Arbeiten das Verhalten des Minutenvolumens bei beiden Geschlechtern während der Ruhe[2] und der Einwirkung verschiedener Faktoren untersucht. Unter diesen können erwähnt werden die Körperstellung[3], Bestrahlung mit ultraviolettem Licht[4], die Einwirkung gefäßerweiternder Mittel.[5] Ganz besonders hat man aber die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der Arbeit gerichtet. Durch Untersuchungen von Lindhard[5] und später auch von Boothby[6], sowie auch von Krogh und Lindhard[7] hat man so gefunden, daß das Minutenvolumen des Herzens mit der Größe der Arbeit steigt und, im großen gesehen, als eine Funktion des respiratorischen Gaswechsels betrachtet werden kann. In der Mehrzahl der Versuche, aus denen dies Ergebnis hervorgegangen ist, wurde eine genau bestimmte äußere Arbeit beim Radfahren an Kroghs Ergometer ausgeführt. In einem Teil der Versuche wurde indessen die ausgeführte Arbeit in anderer Weise hervorgebracht. So wurde in drei Versuchen der Cykelergometer mit der Hand gedreht.[5] In acht Versuchen von

---

[1] Der Redaktion am 7. März 1918 zugegangen.

[2] Vgl. Lindhard, *Dies Archiv.* 1916. Bd. XXXV. S. 117.

[3] Vgl. Lindhard, *Ebenda.* 1913. Bd. XXX. S. 395.

[4] Vgl. Lindhard, *Ebenda.* 1913. Bd. XXX. S. 73.

[5] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 233.

[6] *Amer. Journ. of physiol* 1915. Vol. XXXVII. p. 383.

[7] *Journ. of physiol.* 1917. Vol. LI. p. 182.

Krogh und Lindhard wurde das Minutenvolumen bestimmt, während die Arbeit durch elektrische Reize großer Muskelgruppen im Stuhl von Bergonié erhalten wurde. Alle diese Versuche zeigten das Minutenvolumen als eine lineare Funktion der O_2-Aufnahme. Inwieweit irgendeine quantitative Verschiedenheit bei den verschiedenen Arbeitsformen vorhanden gewesen ist, läßt sich kaum mit Sicherheit entscheiden. Zu diesem Zweck sind offenbar die wenigen Versuche mit dem mit der Hand getriebenen Ergometer unzureichend. Die Versuche im Bergoniéstuhl scheinen beim ersten Anblick für einen gewissen Unterschied zu sprechen, indem die Gerade, die den Zusammenhang zwischen Minutenvolumen und O_2-Aufnahme angibt, einen etwas größeren Winkel mit der X-Achse (der O_2-Absorption) bildet als dies bei den älteren, beim Radfahren ausgeführten Versuchen der Fall ist. Zwei neue Versuche am Cykelergometer scheinen indessen zu zeigen, daß die Verhältnisse auch hier von den früher gefundenen abweichen (verschiedene Trainierung?). Wenn deshalb kleinere Unterschiede im Verhalten des Minutenvolumens bei verschiedenen Arbeitsformen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden können, ist es jedoch offenbar, daß möglicherweise vorhandene Unterschiede betreffs der untersuchten Arbeitsformen von geringem Grade sind.

Weitere Untersuchungen bei verschiedenen Arbeitsformen haben zweifelsohne Interesse. Ganz besonders wünschenswert schien uns eine nähere Bestimmung des Minutenvolumens des Herzens bei mehreren Arbeitsformen verschiedener Art, wie sie im täglichen Leben während wechselnder Verhältnisse vorkommen. Wir haben deshalb hier der Frage von dem Verhalten des Minutenvolumens beim Schwimmen eine Untersuchung gewidmet.

Unsere tatsächlichen Kenntnisse des Minutenvolumens des Herzens beim Schwimmen scheinen bis jetzt so gut wie gar keine zu sein. Aus theoretischen Gründen hat man indessen versucht, sich eine Vorstellung hiervon zu bilden. So hebt R. du Bois-Reymond[1] in Übereinstimmung mit den Tierversuchen von L. Hill[2] hervor, daß die Verteilung des Blutes im Körper, die sonst wesentlich von der Schwere bestimmt wird, in hohem Grade vom äußeren Wasserdrucke beeinflußt wird. Durch die daraus entstandene Kompression der großen Venen in der Bauchhöhle, werden „die Venenwände des Überdruckes zum Teil entlastet“ (a. a. O. S. 261). Durch die relative Druckvermehrung, die

[1] *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1905. Bd. XXIX. S. 252.

[2] *Journ. of physiol.* 1899. Bd. XXIII. S. XVI.

das Wasser in den extrathorakalen Gebieten bewirkt, „muß das Blut nach der Brusthöhle auszuweichen streben". Dadurch wird der venöse Zufluß erleichtert, „und es wird dem Herzen wenigstens an Blutzufuhr nicht fehlen". Zuntz und seine Mitarbeiter[1] heben die Bedeutung der stark abkühlenden Wirkung des Wassers hervor. Während so bei Körperübungen am Lande das Bedürfnis nach vermehrter Wärmeabgabe eine Erweiterung der Hautgefäße mit reichlicher Blutdurchströmung der Haut bewirkt, „die natürlich eine entsprechende Mehrarbeit des Herzmuskels verlangt", ist dies bei der Schwimmarbeit im kühlen Wasser nicht der Fall. „Dieser Teil der Beanspruchung des Herzens fällt also beim Schwimmer aus." Es wird weiter betont (S. 267), daß die besonders verstärkte Atmung auch eine gewisse Entlastung der Herzarbeit verursachen soll, indem das Blut bei der tiefen Einatmung zum Herzen gesogen werden soll; die folgende kräftige Ausatmung soll dann dazu helfen, das Blut in die Arterien hinaus zu treiben. (Es scheint uns schwierig, einzusehen, daß hierdurch die Herzarbeit vermindert werden soll. Die Hilfe bei der Ausatmung wird mehr als genügend von der vermehrten Schwierigkeit, das Blut während der Inspiration in den Arterien hinauszupressen, kompensiert; entsteht irgendeine Vermehrung in der zum Herzen strömenden Blutmenge, so dürfte daraus eine Vermehrung des Minutenvolumens entstehen.) Nach Zuntz und seinen Mitarbeitern entstehen demnach zwei Momente, die die Anforderungen ans Herz während der Schwimmarbeit vermindern. In Übereinstimmung hiermit sind sie der Ansicht, daß während beim Bergsteigen die Leistungsfähigkeit des Herzens im allgemeinen eine Grenze der Arbeit setzt, beim Schwimmen andere Verhältnisse gelten. Öfter soll dabei die Grenze von der Atemmuskulatur, oft auch von der Ermüdung der direkt tätigen Muskeln gesetzt werden.

Unsere Versuche wurden mit der Methode von Krogh und Lindhard ausgeführt. Da aber eine Bewegung des Spirometers neben und dicht an dem Schwimmer während des Schwimmens sehr schwierig erschien, haben wir es so angeordnet, daß der Schwimmer sich nur höchst unbedeutend von dem am Lande feststehenden Spirometer entfernte. Die Abbildung gibt eine Übersicht der Versuchsanordnung. Der Schwimmer hat um den Leib einen Gurt, von dem ein dünnes Seil nach hinten geht (in der Figur nicht sichtbar). In einer Entfernung von 5 bis 6 m hinter dem Schwimmer geht das Seil durch einen Block und ist in dem freien Teil mit einem Gewicht versehen. Bei jedem

[1] *Höhenklima und Bergwanderungen.* 1906. S. 264.

Schwimmstoß hebt der Schwimmer das Gewicht und wird in der Richtung zum Spirometer bewegt. Nach dem Schwimmstoß wird er dann vom Gewicht zurückgezogen. Das von uns verwendete Gewicht ist in der Regel etwa 2 kg, in einigen Versuchen 3 kg gewesen. Dazu kommt noch eine nicht ganz unbedeutende Reibung im Block, $^1/_4$ bis $^1/_2$ kg, an den verschiedenen Versuchstagen etwasvariierend (Regen usw.) Diese niedrigen Werte für die erforderliche Belastung stehen in guter Übereinstimmung mit den von Liljestrand und Stenström[1] ge-



machten Erfahrungen über den Widerstand des Körpers in Wasser. Der Spirometer und die Gassammelröhren waren in geringer Höhe über dem Wasser fest fixiert. Von einem hinausragenden Brett hing der Dreiwegehahn im Wasser; er war mit zwei Schläuchen vereinigt, einem längeren, beweglichen, zum Spirometer, und einem kurzen, festen, zu einem ebenfalls im Wasser belegenen Respirationsventil nach Lovén. Von dem Ventil führten weiter zwei Harmonikaschläuche, der eine — für die Inspirationsluft — endete frei bei dem Brett, der andere — für die Exspirationsluft — führte zu einem Douglassack. Nachdem das Schwimmen einige Minuten gedauert hatte, setzte der Schwimmer die Nasenklemme auf, nahm das am Dreiwegehahn befestigte Mund-

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX.

stück in den Mund, und das Schwimmen begann wieder, während die Exspirationsluft ins Freie hinausging. Dank der Aufhängungsanordnung konnte der Schwimmer fortwährend in genügender Ausdehnung im Verhältnis zum Spirometer bewegt werden. In gewissen Fällen wurde nun ein kurzdauernder Respirationsversuch ausgeführt. Dann geschah bei einem gewissen Zeichen die Bestimmung des Minutenvolumens. Für zwei Versuchspersonen (S. R. und E. S.) wurde es so arrangiert, daß wir beide selbst den Versuch besorgten. Der eine von uns hatte folglich die eine Hand im Wasser an dem Dreiwegehahn und folgte diesem in seinen Bewegungen mit möglichst geringem Widerstand. Die Umdrehungen des Hahnes wurden auch von ihm ausgeführt, während die übrigen Einzelheiten des Versuchs von dem anderen besorgt wurden. Bei den Versuchen an uns selbst verursachte der Mangel an geschulter Hilfe, daß der Versuchsleiter sowohl die Umdrehungen des Hahnes wie die Probeentnahme zu besorgen hatte. Die Folge war indessen, teils daß die Bewegungen des Hahnes im Wasser erschwert wurden, teils daß die Versuchsperson selbst eine gewisse Aufmerksamkeit darauf verwenden mußte, die Arbeit des Versuchsleiters dadurch zu erleichtern, daß er sich nicht zu weit von ihm entfernte. Für uns wurden deshalb die Schwimmstöße in der Regel während der Bestimmung des Minutenvolumens und der zugehörigen Vorperiode, wenn der Hahn relativ fixiert war, weniger kräftig, als dies der Fall in den Respirationsversuchen war. (In den ersten Versuchen an uns wurde der Hahn von der Versuchsperson selbst gedreht; dies zeigte sich aber aus dem eben erwähnten Grunde als unvorteilhaft.) Bei der Berechnung der Schwimmversuche haben wir angenommen, daß die Größe des Residualvolumens dieselbe war wie in Ruhe am Lande sitzend. Für G. L. wurden die folgenden Werte für das alveoläre Residualvolumen (bei Zimmertemperatur) erhalten: sitzend am Lande $1 \cdot 14 \pm 0 \cdot 02$ Liter (5 Versuche), liegend in der Badewanne ohne Wasser $1 \cdot 16 \pm 0 \cdot 03$ (4 Versuche) und mit Wasser $1 \cdot 13 \pm 0 \cdot 03$ Liter (6 Versuche); ähnliche Ergebnisse wurden bei einer anderen Versuchsperson erhalten. Irgendeinen Fehler von Bedeutung dürfte man auch nicht dadurch begehen, daß man den bei Ruhe gefundenen Wert gebraucht, obgleich die Beobachtungen von Hasselbalch[1] gezeigt haben, daß eine Vergrößerung des Residualvolumens während der Arbeit eintreten kann. — Im allgemeinen haben wir während des Schwimmens nicht die Pulsfrequenz bestimmen können; in einigen Fällen war es jedoch

[1] *Festskrift ved Indvielsen af Finseninst. Klin.* 1908. S. 9.

den Versuchspersonen möglich, während andauernden Schwimmens den Karotispuls mit der einen Hand zu fühlen, während die Zeit am Lande genommen wurde. — Da, wie unten ersichtlich wird, große Unterschiede betreffs der O_2-Aufnahme während der Minutenvolumenbestimmung und des Respirationsversuchs oft vorhanden sind, haben wir es nicht für angemessen gehalten, für die Schwimmversuche das gefundene Minutenvolumen zu reduzieren.

Bei Ruhe wurde bei dreien von den Versuchspersonen das Minutenvolumen des Herzens in sitzender Stellung bestimmt. Bei Reduktion zu normalem Gaswechsel wurden hierfür diejenigen Werte gebraucht, die Liljestrand und Stenström[1] an denselben Versuchspersonen kurz vorher gefunden hatten. Für J.L. schienen neue Ruheversuche unnötig zu sein, da aus zahlreichen älteren Versuchen[2] hervorgeht, daß sein Minutenvolumen bei Ruhe (O_2-Verbrauch 250 ccm pro Minute) 4·9 Liter ist.

In der Regel wurden die Versuche in nüchternem Zustande ausgeführt; in einigen Fällen („N. m.") war 4 bis 6 Stunden vorher ein leichtes Frühstück eingenommen worden.

Tabelle I.

J. L., 47 Jahre. 63·5 kg. Schwimmversuche (Belastung 2 kg).

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Bemerkungen
15./8. Vm.	1	12·9	985	77	1613	Die Versuchsperson drehte selbst den Hahn
20./8 Nm.	10	9·8	1049	109	1735	Unaufgelegt
17./8. Vm.	5	8·6	1061	123		
16./8. Vm.	2	16·3	1079	66	1661	
17./8. Vm.	4	9·4	1135	122	1788	
18./8. Vm.	6	12·1	1139	96	1658	
16./8. Nm.	3	17·2	1203	70	1807	
20./8. Nm.	9	17·1	1256	74		Unaufgelegt
19./8. Vm.	8	16·8	1583	94		
19./8. Vm.	7	21·1	1606	76		

Die Versuche werden in der Tabelle nach steigender O_2-Aufnahme während der Kreislaufversuche angeführt. Man findet hier im allgemeinen einen wesentlich niedrigeren Wert für die O_2-Aufnahme in den Kreislaufversuchen als in den Respirationsversuchen. Die Er-

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 13.

[2] *Ebenda.* 1916. Bd. XXXV. S. 117.

klärung liegt zweifelsohne in dem oben Angeführten, nämlich der geringeren Intensität des Schwimmens vor und während der Bestimmung des Minutenvolumens. Besonders tritt dies im Versuch vom 15./8. hervor, da die Versuchsperson selbst den Hahn drehte. Da aber auch in den folgenden Tagen der betreffende Unterschied bedeutend war, bemühte sich die Versuchsperson später, soweit möglich, dieselbe Arbeitsintensität während der ganzen Zeit beizubehalten. Am 19./8. zeigen auch die Versuche in dieser Hinsicht gute Ergebnisse. Jedoch finden sich am 20./8. während der Kreislaufversuche ziemlich niedrige Werte für die O_2-Aufnahme, was möglicherweise damit zusammenhängt, daß die Versuchsperson jenes Tages unaufgelegt war. Daß das Minutenvolumen des Herzens während der Einwirkung der Schwimmarbeit wesentlich steigt, geht deutlich aus der Tabelle hervor. Bisweilen werden sehr hohe Werte erreicht (etwa 20 Liter); die Unregelmäßigkeiten sind aber auffallend. Das größte Interesse beansprucht der in Reihe 5 angegebene Wert über die Ausnutzung des O_2 des Blutes. Bei Ruhe findet man für J. L. im Mittel 50 bis 60 ccm, was ja niedriger, in der Regel wesentlich niedriger als sämtliche während des Schwimmens gefundenen Werte ist. Jedoch hält sich für die meisten Versuche der Tab. I der Wert der „Ausnutzung" auf ziemlich mäßiger Höhe; in einigen Fällen werden aber ziemlich hohe Werte erreicht (Maximum 123 ccm). Sichere Anhaltspunkte zur Erklärung dieser Unregelmäßigkeiten haben wir nicht. Möglich ist, daß es sich hier um irgendeine Kompensation von Seiten des Organismus handelt, so daß, nachdem der Aufenthalt im Wasser eine Zeit gedauert hat, ein relativ niedrigeres Minutenvolumen mit entsprechend höherem Wert für die Ausnutzung erhalten wird. Damit stimmt gut überein, daß in allen Fällen, wo zwei

Tabelle II A.

G. L., 31 Jahre, 50·6 kg. Ruheversuche am Lande.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Minutenvol. auf gewöhnl. O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen (ccm)
10./8.	1	6·9	242	35	(200)	5·7	46	124
11./8.	2	4·8	236	49	(200)	4·1	48	85
20./8.	3	6·4	326	51	(200)	3·9	63	62
20./8.	4	7·9	305	39	(200)	5·2		82·5
			Mittel	43·5		4·7		

Tabelle II B.

G. L., Schwimmversuche (Belastung 2 kg).

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen (ccm)	Bemerkungen
14./8. Vm.	2	10·3	735	71	1478	111·5	(92)	Die Versuchsperson drehte selbst den Hahn.
16./8. Nm.	6	10·0	784	79	—	—	—	Das eine Bein der Versuchsperson verfing sich vor dem Versuch in ein Seil und war während des Versuchs fest.
17./8. Nm.	7	11·5	969	84	1484	—	—	
14./8. Nm.	4	12·8	970	76	—	—	—	Drehte selbst den Hahn.
14./8. Nm.	3	13·9	1020	74	1630	—	—	„ „ „ „
13./8. Vm.	1	17·1	1127	66	1265	120	(142)	„ „ „ „
18./8. Vm.	9	15·4	1150	75	1557	116	(133)	
18./8. Vm.	8	14·8	1180	80			(128)	
16./8. Nm.	5	17·2	1230	71				

Versuche nacheinander während desselben Aufenthaltes im Wasser an dieser Versuchsperson ausgeführt wurden, regelmäßig ein höherer Wert für die O_2-Ausnutzung im letzten Versuch erhalten wird (vgl. bzw. 4 und 5, 7 und 8, 9 und 10!).

Die Ruhewerte für G.L. (Tab. IIA) stimmen gut mit den in der Literatur mitgeteilten[1] überein. Bei den Schwimmversuchen (Tab. IIB) wird wie bei J.L. oft eine wesentlich niedrigere O_2-Aufnahme während des Kreislaufversuchs als im Respirationsversuch beobachtet; am größten ist in der Regel der Unterschied in den Fällen (es wird vom Versuch 6 abgesehen, da hier ein besonderes Moment hinzukam), wo die Versuchsperson selbst den Hahn drehte. Auch hier findet sich eine bedeutende Vergrößerung des Minutenvolumens während des Schwimmens. Was das Schlagvolumen betrifft, werden die Werte eingeklammert angeführt, die durch Division des Minutenvolumens mit der Pulsfrequenz erhalten wurden. Da aber die Pulsfrequenz unter Verhältnissen bestimmt wurde, die denjenigen bei den Respirationsversuchen analog waren, und da keine Reduktion ausgeführt wurde, wird offenbar diejenige Pulsfrequenz, der die Kreislaufversuche entspricht, bisweilen wesentlich niedriger und das Schlagvolumen folglich in Wirklichkeit wesentlich

[1] Vgl. *Dies Archiv.* 1916. Bd. XXXV. S. 117.

größer als die angeführte. Nichtsdestoweniger findet man aus der Tabelle, wenn man von Versuch 6 absieht, der ja bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt werden darf, durchgehends größeres, als Regel sogar bedeutend größeres Schlagvolumen als in der Ruhe. Die Ausnutzung des Sauerstoffs des Blutes ist auch während des Schwimmens den Ruheversuchen gegenüber offenbar erhöht. In dieser Hinsicht sind die Versuche sehr regelmäßig; sämtliche Werte liegen zwischen 66 und 84 (im Mittel 75), folglich im ganzen eine mäßige Steigerung. Zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Versuchen konnte ein Unterschied nicht nachgewiesen werden.

Tabelle III A.

S. R., 21 Jahre, 66 kg. Ruheversuche am Lande.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs (ccm pr. Min.)	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Minutenvol. auf gewöhnl. O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen (ccm)
13./8.	1	11·2	390	35	(220)	6·3	71·5	88
13./8.	2	7·8	408	52·5	(220)	4·2	71·5	59
17./8.	3	10·8	408	38	(220)	5·85	73	80
17./8.	4	7·2	402	56	(220)	3·9	73	54
			Mittel	45		5·1		

Tabelle III B.

S. R., Schwimmversuche (Belastung 3 kg).

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvol. dir. (Liter)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.) während des Versuchs	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvol. (ccm)
15./8.	1	27·2	1632	60	1615		
15./8.	2	18·9	1796	95			
16./8.	3	16·7	1495	90	2018	118	142
16./8.	4	16·3	1585	97			138
17./8.	5	18·1	1593	88	1917	134	135
17./8.	6	21·6	1761	82			161

Die Versuchsperson S. R. schwamm die ganze Zeit gleichmäßig und kräftig und ohne von Mundstück und Dreiwegehahn sichtbar belästigt zu werden, die nach dem früher Mitgeteilten auch während der Kreislaufversuche soviel wie möglich von ihm mitgeführt wurden. Die erhaltenen Ergebnisse sind auch, wenn man für den ersten Versuch

eine Ausnahme macht — und es läßt sich wohl denken, daß die ungewohnte Lage dabei gewissermaßen eingewirkt hat —, sehr regelmäßig. Durchgehends ist die Übereinstimmung zwischen der O_2-Aufnahme bei den Minutenvolumenbestimmungen und den Respirationsversuchen befriedigend. Diese Versuche scheinen uns deshalb besonders wertvoll. Die Vergrößerung des Minutenvolumens ist sehr beträchtlich. Wenn man vom ersten Versuch absieht, zeigen sie auch gute Übereinstimmung für die Ausnutzung, die von 45 bis etwa 90 gestiegen ist. Das Schlagvolumen ist im Mittel mehr als verdoppelt (von 70·5 bis 144 ccm).

Die Versuche mit der weiblichen Versuchsperson, E. S., zeigen typisch dasselbe Verhalten wie diejenigen der männlichen Versuchspersonen: eine beträchtliche Zunahme des Minutenvolumens während des Schwimmens mit mäßiger Steigerung der Ausnutzung. Im Mittel werden dort 66 ccm pro Liter Blut aufgenommen.

Tabelle IV A.

Fräulein E. S., 19 Jahre, 57 kg. Ruheversuche am Lande.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme (ccm pr. Min.) während des Versuchs	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pr. Min.)	Minutenvol. auf gewöhnl. O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen (ccm)
18./8.	1	8·7	332	38	(183)	4·8	86	56
18./8.	2	5·6	329	59	(183)	3·1	82	38
20./8.	3	5·1	271	53	(183)	3·4	65	52
20./8.	4	5·4	230	42	(183)	4·3	66	65
			Mittel	48		3·9		

Tabelle IV B.

Fräulein E. S., Schwimmversuche (Belastung 2 kg).

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvol. dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs (ccm pro Min.)	O_2-Aufnahme pro Liter Blut (ccm)	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch (ccm pro Min.)
20./8.	1	15·2	1042	69	
20./8.	2	15·7	944	60	
21./8.	3	15·0	873	58	1161
21./8.	4	11·4	874	77	

Die Ergebnisse bei den verschiedenen Versuchspersonen sind mit Rücksicht auf das Minutenvolumen des Herzens sowie auf die Ausnutzung, im großen gesehen, gut übereinstimmend. Es tritt dann die

Frage auf, ob die Vermehrung des Minutenvolumens beim Schwimmen von derselben Größe ist wie bei Arbeit anderer Art mit dem entsprechenden O_2-Verbrauch. Am einfachsten ist es dann, die Werte für die O_2-Ausnutzung für die verschiedenen Fälle miteinander zu vergleichen. Zurzeit liegen nur für eine der Versuchspersonen, J. L., solche Vergleichsversuche mit anderer Arbeit vor, nämlich die früher (S. 64) erwähnten. Bei der Prüfung der während jener Verhältnisse gefundenen Werte für die O_2-Aufnahme pro Liter Blut (a. a. O. S. 193) findet man Schwankungen von etwa derselben Art wie in unseren Versuchen. Die Werte sind, im großen gesehen, ungefähr gleich groß, wenn man von den beiden Schwimmversuchen vom 17./8. Vm. absieht, die einen höheren Wert für die Ausnutzung geben. Für die übrigen Versuchspersonen liegen bis jetzt Kreislaufversuche bei anderer Arbeitsart nicht vor. Man muß sich deshalb zurzeit auf einen Vergleich mit Arbeitsversuchen am Cykelergometer an anderen Versuchspersonen beschränken, die von Lindhard an vier und Boothby an einer Versuchsperson mitgeteilt worden sind. In beiden Fällen findet sich im ganzen eine vermehrte Ausnutzung bei Vergrößerung der Arbeit, obgleich große Abweichungen in gewissen Versuchen vorliegen. Ein Vergleich mit unseren Versuchen spricht entschieden für eine niedrigere Ausnutzung beim Schwimmen. Während also G. L. eine Ausnutzung von 75 ccm im Mittel (Grenzen 66 und 84) bei einer O_2-Aufnahme von 735 bis 1230 ccm und S. R. von 90·5 ccm (82 bis 97 mit Weglassen des niedrigen Wertes 60) bei einer O_2-Aufnahme von 1495 bis 1796 ccm und E. S. von 66 ccm (58 bis 77) bei der O_2-Aufnahme 873 bis 1042 ccm zeigen, möchten wir nach Lindhards Arbeit die folgenden Angaben wiedergeben:

Versuchsperson	O_2-Aufnahme während des Versuchs	O_2-Aufnahme pro Liter Blut	Versuchsperson	O_2-Aufnahme während des Versuchs	O_2-Aufnahme pro Liter Blut
J. J.	967	73	V. M.	1089	68·2
	1629	79·5		1540	109·0
	1914	94·5		1724	95·5
	1945	105·7		1818	94·5
				1928	84·5
				1775	114·0
J. L.	947	76·3	Frau M.	1228	79·7
	1054	86·7		1248	94·8
	1353	101·0		1470	92·3
	1747	110·5		1719	100·0
	1854	117·5			
	2110	120			

Bei Boothby schwanken die Werte bei einer O_2-Aufnahme von 800 bis 900 ccm von 89 bis 181 (Mittel 113). Es ist uns deshalb wahrscheinlich, daß die Ausnutzung des Sauerstoffs des Blutes bei der Schwimmarbeit nicht nur nicht besser, sondern für gewisse Fälle sogar schlechter als bei der Arbeit am Cykelergometer ist. Die Schlußfolgerung muß indessen mit Rücksicht auf individuelle Schwankungen mit einer gewissen Zurückhaltung gezogen werden.

Wir haben schon vorher die wichtigsten Faktoren erwähnt, die beim Schwimmen das Minutenvolumen beeinflussen dürften. Neben dem vermehrten Stoffwechsel, der zweifelsohne das wichtigste Moment ist, kommt der gegen die Schwere gerichtete Effekt des Wassers, ferner die Vermehrung des extrathorakalen Druckes, die Kältewirkung des Wassers und möglicherweise eine gewisse Einwirkung der oft relativ hohen Ventilation hinzu. Es dürfte zurzeit kaum möglich sein, mit irgendeiner Sicherheit die Bedeutung dieser Faktoren je für sich anzugeben, und wir müssen uns daher auf einige Andeutungen beschränken.

Daß die Wirkung der Schwere auf die Blutverteilung im Wasser größtenteils kompensiert wird, dürfte sicher sein, und man dürfte deshalb in Übereinstimmung mit dem Befund von Lindhard[1] beim Übergang von stehender zu liegender Stellung zu erwarten haben, daß das Minutenvolumen des Herzens aus dieser Ursache steigen soll. Die Wirkung des extrathorakalen Überdruckes wegen der Schwere des Wassers dürfte wohl von der (im Vergleich mit anderen Arbeitsarten) relativ großen Ventilation verstärkt werden. Was die Wirkung der Kontraktion der Hautgefäße auf das Minutenvolumen betrifft, nehmen Zuntz und seine Mitarbeiter an, daß diese dadurch vermindert wird. Sicher ist dies aber nicht, denn es läßt sich wohl denken, daß kompensatorisch ein vermehrter Blutzufluß zur Cisterna venosa mit daraus folgender Vermehrung des Minutenvolumens eintreten kann. Schließlich darf hervorgehoben werden, daß die Schwimmarbeit an und für sich von den bisher mit Rücksicht auf das Minutenvolumen untersuchten Arbeitsformen in der Hinsicht abweicht, daß hier wesentlich größere Muskelmassen in kräftige Wirksamkeit versetzt werden. Möglicherweise werden dadurch die Bedingungen für die Rückströmung des Blutes relativ günstig.

Zur näheren Analyse der Bedeutung der verschiedenen Faktoren

[1] *Dies Archiv.* 1913. Bd. XXX. S. 395.

wäre es wünschenswert, daß Bestimmungen des Minutenvolumens sowohl bei Ruhe wie vor allem bei Arbeit während solcher Verhältnisse zur Verfügung ständen, daß die erwähnten Faktoren variiert würden (z. B. Vergleich zwischen Arbeitsversuchen in kalten, indifferenten und warmen Bädern sowie auch bei extrathorakalem Überdruck in anderer Weise als durch Wasser). Nur über wenige dieser Punkte liegen aber Versuche vor. Schapals[1] hat Bestimmungen des Minutenvolumens in kalten, indifferenten und warmen Bädern ausgeführt; die Versuche wurden aber nach einer Methode (Pleschs) ausgeführt, die Raum für wichtige Einwendungen liefert (vgl. Lindhard[2]). Lindhard hat bei einigen Versuchspersonen eine Verminderung des Minutenvolumens bei kalten und eine Vergrößerung bei warmen Bädern gefunden. In einigen Fällen erhielt er bei kalten Bädern wenigstens keine Verminderung. Dies scheint am nächsten darauf hinzudeuten, daß die Einwirkung des kalten Wassers an und für sich wenig bedeutend ist; man muß sich aber vergegenwärtigen, daß ein Faktor, der bei Ruhe keine oder geringe Wirkung hat, sehr wohl ziemlich große Bedeutung während der Arbeit erhalten kann.

In den Fällen, wo die Pulsfrequenz bestimmt wurde, wurde eine wesentliche Vergrößerung des Schlagvolumens beobachtet, in voller Übereinstimmung mit den Verhältnissen bei Arbeit anderer Art (Lindhard, Boothby, Krogh und Lindhard). Wenn nun auch eine gewissermaßen unvollständige Entleerung der Herzkammer in Ruhe vorhanden sein kann, scheint es unmöglich, in einem solchen Verhältnis die Erklärung zu den bei der orthodiagraphischen Untersuchung erhaltenen Ergebnissen zu erblicken. Auch kurz nach anstrengendem Schwimmen wurden nämlich solche Bestimmungen ausgeführt — von Kienböck, Selig und Beck[3] — und sie haben, wie in einigen anderen Fällen oft eine Verkleinerung des Orthodiagrammes 5 bis 30 Sekunden nach der Anstrengung gezeigt. Wenn man nun auch annimmt, daß man kurze Zeit nach der Arbeit ähnliche Verhältnisse wie während der Arbeit findet, beweisen die betreffenden Untersuchungen keineswegs, daß verkleinertes Schlagvolumen während der Arbeit vorhanden sein muß. Denn es muß bestimmt betont werden, daß es nicht ohne weiteres berechtigt ist, von einem Orthodiagramm in einer Projektionsrichtung sichere Schluß-

---

[1] *Zeitschr. f. exp. Pathol. u. Ther.* 1912. Bd. X. S. 222.

[2] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 239.

[3] *Münch. med. Wochenschr.* 1907. S. 1427 u. 1486.

folgerungen über die Volumverhältnisse des Herzens zu ziehen (vgl. Lindhard[1]).

Bedenkt man, daß während des Schwimmens das Minutenvolumen des Herzens wesentlich steigt — wahrscheinlich mehr als für gewisse andere Arbeitsformen mit demselben O_2-Verbrauch — und daß außerdem der Blutdruck zweifelsohne wesentlich höher als bei der Mehrzahl anderer Arbeitsformen steigt (vgl. Liljestrand und Stenström[2]), findet man, daß das Schwimmen eine wesentliche Vermehrung der Herzarbeit herbeiführen kann. Ganz besonders wird dies offenbar beim anstrengenden Schwimmen der Fall, da leicht genug ein höchst wesentlicher Umsatz entsteht. Die S. 66 referierte Auffassung von Zuntz und seinen Mitarbeitern, daß die Grenze der Leistungsfähigkeit beim Schwimmen öfter von der Atmung als vom Herzen gesetzt werden soll, scheint uns nicht genügend motiviert zu sein. Ohne Zweifel entstehen leicht ungewöhnliche Anforderungen sowohl für die Atmung wie für den Kreislauf, ohne daß man sicher entscheiden kann, wo sie am relativ größten sind. Es dürfte indessen wahrscheinlich sein, daß eine Überanstrengung der Kreislauforgane beim Schwimmen ziemlich leicht entstehen kann.

Zusammenfassung.

Beim Schwimmen steigt das Minutenvolumen des Herzens wenigstens gleich viel, wahrscheinlich aber mehr als bei entsprechendem O_2-Verbrauch bei in dieser Hinsicht bis jetzt untersuchten anderen Arbeitsformen. Da auch der Blutdruck beim Schwimmen relativ mehr steigt, wird die Arbeit des Herzens wesentlich mehr als bei den anderen Arbeitsformen gesteigert.

---

[1] *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 241.

[2] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 13.

Fettminimum.[1]

Von

M. Hindhede,
Kopenhagen.

Einleitung.

Gibt es für den Menschen ein Fettminimum, d. h. gibt es einen Mindestbedarf von Fettstoff, niedriger als den man nicht zu gehen wagt, ohne Leben und Gesundheit in Gefahr zu bringen? Dies ist eine Frage, die noch nicht gelöst, ja kaum einmal untersucht worden ist.

Man weiß nichts Bestimmtes, aber um dem Leser einen Begriff davon zu geben, was bekannte Ernährungsphysiologen meinen, werde ich folgende Aussprüche nordischer Ernährungsphysiologen anführen.

Wie bekannt, behauptete Voit in München, daß ein erwachsener Mann nicht mehr als 500 g Kohlehydrate verdauen könnte. Infolgedessen verlangte er, daß die Kost — neben 118 g Eiweiß — wenigstens 56 g Fettstoff enthalten sollte. Nach Besprechung hiervon schreibt Professor Tigerstedt[2]:

„Es ist nicht ganz richtig, 500 g Kohlehydrate als wirkliches Maximum aufzufassen — und das tat Voit auch nicht. Der Darm kann größere Mengen davon bewältigen, aber hierin liegt kein Grund vor, die Kohlehydrate auf Kosten des Fettes zu vermehren. Denn die Erfahrung zeigt mit aller zu wünschenden Deutlichkeit, daß der menschliche Körper einen sehr ausgesprochenen, noch nicht aufgeklärten Fettbedarf hat, und die Fettmenge in der Voitschen Norm (56 g) sollte eigentlich als die niedrigste Grenze bei Mittelarbeit aufgefaßt werden. In unserer Gruppe III (Mittelarbeit) finden wir als Mittelzahl bzw. 125 g (Amerika) und 85 g (Europa)."

[1] Der Redaktion am 19. Dezember 1918 zugegangen.

[2] *Lehrbuch der Physiologie*, 5. Aufl. Bd. I. S. 181.

Und an anderer Stelle[1]:

„Dem sei, wie es wolle. Die Hauptsache ist auf jeden Fall, daß der Körper aus irgendeinem Grunde einer gewissen Menge Fett bedarf in seiner täglichen Kost, und daß diese Menge nicht zu gering sein darf. Wie groß sie sein muß, darüber können wir auf Grundlage durch Experimente erlangter Tatsachen gar nichts sagen. — In der Kost bei Mittelarbeit muß deshalb nicht weniger als 80 bis 100 g Fett täglich enthalten sein."

Professor Sofus Torup, Kristiania, schreibt[2]:

„Auch Fett und Kohlehydrate sind einander nicht gleichwertig in der Kost. Ältere Physiologen betrachteten freilich die Rolle dieser Stoffe im Energieumsatz als wesentlich identisch und meinten, daß man dieselben durch einander ersetzen könnte. Bis zu einem gewissen Grade läßt sich dies gewiß auch tun und zwar innerhalb recht weiter Grenzen. Sie ersetzen sich gegenseitig in dem „kalorischen" Verhältnis, d. h. 1 g Fett kann an Stelle von 2·27 g Mehlstoff und Zucker treten. Aber beide müssen, wie gesagt, vorhanden sein. Fehlt in der Nahrung Mehlstoff und Zucker, entwickeln sich wirkliche krankhafte Zustände — das wissen wir seit langem. Es ist freilich nicht bewiesen, daß Fettmangel eigentliche krankhafte Zustände bewirkt, doch ist Mangel an Fett eine große Entbehrung, welche die Arbeitsfähigkeit und das Wohlbefinden herabsetzt. In den Ländern, wo Fettstoffe während des Krieges gefehlt haben, befanden sich selbst die Menschen, welche genügend Kohlehydrate erhalten konnten, in einem eigentümlichen Zustand, den man mit „Fetthunger" bezeichnen kann. Wir hatten übrigens früher praktische Beispiele dafür. Nansens Expedition über Grönlands Eis ist für mich in dieser Beziehung ein lehrreiches Experiment gewesen. Diese hatte nämlich versäumt, genügend Fett in ihrem Proviant mitzunehmen, und litt an ausgesprochenem „Fetthunger", als sie an Grönlands Westküste ankam. Es ist also so, daß man unter allen Umständen einer gewissen Menge Fett bedarf. Wie niedrig diese Menge gesetzt werden kann, kann man nicht gut sagen, aber niedriger als 40 g Fett täglich für einen erwachsenen Mann sollte man nicht gehen."

Nach Torup halten also nur „ältere" Physiologen an der Unentbehrlichkeit des Fettes fest. Ganz sicher gibt es auch nun jüngere

[1] *Fortschritte der naturw. Forschung.* Bd. V. S. 272 u. 295.

[2] *Den departementale Rationeringskomités Indstilling.* 1917. S. 140.

Physiologen, welche dasselbe behaupten, doch stützen sie sich in diesem Falle wesentlich nur auf Tierversuche. Wir wollen kurz einige dieser Versuche besprechen.

Tierversuche.

Osborne-Mendels Rattenversuche.[1]

Erst fand man eine normale Rattenkost — „Milchnahrung" — bestehend aus getrockneter Milch 60 Prozent + Stärke 17 Prozent + Schweinefett 23 Prozent. Bei dieser konnten die Ratten bestehen und sich durch mehrere Generationen vermehren. Die Wachstumskurven der Ratten bei dieser Normalkost wurden als Maßstab für das Gedeihen bei den folgenden künstlichen Kostformen gebraucht.

Der Anfang wurde gemacht, indem man den Ratten eine künstliche Milchnahrung gab; zusammengesetzt aus Kasein, Schweinefett, Zucker, Stärke und einer Salzmischung, die sich in der Zusammensetzung so nahe als möglich an den Salzinhalt der Milch schloß. Erst schien dies gut zu gehen. Die Verfasser schrieben mit Stolz, es sei das erste Mal, daß es gelungen sei, Tiere zum Gedeihen zu bringen bei einer Mischung von reinen Nahrungsstoffen. Jedoch hatten sie zu früh triumphiert. Als die Versuche in großer Skala mit vollständig reinen Nahrungsstoffen wiederholt wurden, ging es auf die Dauer nicht. Die Rattenjungen gediehen eine Zeitlang, jedoch an einem gewissen Punkte hörte das Wachstum auf und der Tod trat ein, wenn auf dieselbe Art fortgefahren wurde. Jedoch, vertauschte man die „künstlichen Molken" — Milchzucker, Salzmischung und Wasser — mit „natürlichen Molken", nahm das Wachstum von neuem zu. Hieraus konnte man schließen, daß sich die wirksamen Stoffe in den Molken befanden. Jedoch dies zeigte sich, ein neuer Irrtum zu sein. Mit noch länger anhaltenden und sorgfältigen Versuchen mit der natürlichen Molkennahrung zeigte es sich, daß dieselbe auf die Dauer nicht genügte. Zuletzt hörte das Wachstum auf und der Tod trat ein. Mit getrockneter Zentrifugenmilch, Schweinefett und Stärke ging es noch länger gut, doch zuletzt ging es wie in den ersten Fällen. Es war nun kein anderer Unterschied zwischen der Normalnahrung und der künstlichen

---

[1] Osborne and Mendel: Feeding experiments with isolated foodsubstances I and II. Published by the Carnegie Institution of Washington 1911. Später sind die fortgesetzten Versuche in der amerikanischen Zeitschrift „*Journal of biological Chemistry*" veröffentlicht worden. Vol. XVI, XVII, XX, XXI, XXIII, XXIV, XXV.

Nahrung, als daß Butter mit Schweinefett vertauscht war. Man sollte nicht meinen, daß dies einen Wesensunterschied machen könnte. Aber es zeigte sich wirklich, daß, wenn man zwei Drittel des Fettes gegen Butter umtauschte, erholten sich die Ratten sofort und nahmen bedeutend an Gewicht zu. Wie konnte der Wesensunterschied zwischen Butter und Schweinefett erklärt werden? Konnte es in den 15 Prozent Buttermilch liegen, die sich in der Butter befinden? Dies schien nicht wahrscheinlich, da Zentrifugenmilch unwirksam war. Es zeigte sich auch, wenn man die Butter schmolz und zentrifugierte und die Ölschicht aufsog, daß dies reine Butteröl ebenso wirksam war wie die Butter selbst.

Das Butterfett scheint also eine unerklärlich spezifische Wirkung zu haben, die dem Schweinefett fehlt. Bei fortgesetzten Versuchen mit anderen Fettstoffen zeigte es sich, daß diese in zwei Gruppen geteilt werden können, wonach die erste im genannten Sinne wirksam — positiv —, die andere unwirksam — negativ — ist. Wir haben:

positive	negative
Butter	Schweinefett
Lebertran	Olivenöl
Eidotterfett	Mandelöl
Tierische Margarine	
Nierenfett	
Testikelfett	
Ochsentalg	

In der Mitte zwischen diesen beiden Gruppen steht Ochsentalg, der teilweise wirksam war. Das heißt: der flüssige Teil war wirksam, der feste wirkungslos. Da der flüssige Teil des Ochsentalges zur Margarinebereitung angewandt wird, erklären sich hierdurch die positiven Eigenschaften der Margarine. Wenn positive Fettstoffe fehlten, zeigten sich folgende Phänomene:

1. Erst Stillstand, später Abnahme des Gewichts.
2. Augenleiden.
3. Häufiges Vorhandensein von Phosphatsteinen im Urin.
4. Zuletzt tritt der Tod ein.

Mc Collums Rattenversuch.

Zum Teil ausgeführt als Kontrollversuche der vorher genannten. Mc Collum bewies mehrere Male die besprochenen Fehlschlüsse, welche

Osborne-Mendel dazu brachten, die Versuche zu wiederholen, wobei es sich zeigte, daß Mc Collum Recht hatte. Zuletzt kam deshalb Übereinstimmung in den Resultaten in bezug auf die Wirkung der verschiedenen Fettsorten.

Hier sollen nur die Versuche besprochen werden, die Frage betreffend, wieweit die positiven, tierischen Fettstoffe durch Pflanzennahrungsmittel ersetzt werden können.[1]

Erst werden die Ratten 20 Wochen hindurch auf eine Nahrungsmischung gesetzt, bestehend aus fettfreien, reinen Stoffen: Kasein + Dextrin + Milchzucker + Salzmischung. Wenn sie dann dem Tode nahe waren, wurden 50 Prozent der Mischung umgetauscht gegen:

1. 50 Prozent Maismehl. Mc Collum schreibt: „Die Resultate waren überraschend; die Ratten nahmen augenblicklich zu und ihr Aussehen veränderte sich. Die entzündeten Augen wurden normal, die Haut wurde glänzend und die Tiere bekamen im ganzen ein wohlgenährtes Aussehen. Dies Resultat war ein unerwartetes. Mais enthält wohl 4 bis 5 Prozent Fett, die Nahrungsmischung also 2 Prozent vegetabilisches Fett. Zusatz von 5 Prozent Butter hatte merkwürdigerweise nicht annähernd dieselbe Wirkung wie Maiszusatz.

2. 50 Proz. Weizenkeime. Ähnlich wie Mais.

3., 4., 5. 50 Proz. ungesiebtes Weizen- oder Roggenmehl. 50 Proz. Hafergrütze zeigte sehr geringe Wirkung. Die Tiere konnten zur Not am Leben erhalten werden, nahmen aber nur ausnahmsweise an Gewicht zu.[2]

---

[1] *Journal of biological Chemistry.* Vol. XXI. p. 179.

[2] Diese Überlegenheit des Mais über die anderen Kornsorten hat derselbe Verfasser früher sowohl bei Hornvieh (*Bull.* XVII. Wiscosin Agricultural Exp. Station) als auch bei Schweinen konstatiert (*Journal of Biol. Chemistry.* Vol. XIX. p. 373). Hornvieh degenerierte vollkommen in der 2. Generation bei einem Futter, bestehend aus allein Weizen und Weizenstroh, doch bestand gut bei Mais und Maisstroh. Schweine gedeihen ebenfalls gut bei Mais, während Weizen ein jämmerliches Resultat gibt. Zusatz von Maisfett half nicht, Butterfett half etwas, aber erst Butter + Käsestoff machten das Wachstum vollkommen. Dies weist darauf hin, daß der Mangel beim Weizen in den Eiweißstoffen des Weizens liegt, was sehr auffallend ist, da gerade über die Hälfte des Eiweißinhaltes des Mais aus dem „unvollkommenen Eiweisstoff" Zein besteht (ihm fehlt Tryptofan), wobei Ratten nicht gedeihen können, wenn es den einzigen Eiweißstoff des Futters ausmacht. Dies zeigt, wie wenig man aus dem Füttern mit isolierten reinen Nahrungsstoffen auf Füttern mit denselben Stoffen in ihrer natürlichen Mischung schließen kann.

Es soll bemerkt werden, daß erwachsene Menschen außerordentlich gut

Hopkins Rattenversuche.[1]

Hopkins setzte die Ratten auf eine Nahrungsmischung aus folgenden Bestandteilen:

	I. Reine Kasein-mischung	II. Protene-mischung
Eiweiß	22·0 Proz.	21·3 Proz.
Stärke	42·0 ,,	42·0 ,,
Zucker	21·0 ,,	21·0 ,,
Schweinefett	12·4 ,,	12·4 ,,
Salze	2·6 ,,	3·3 ,,

„Protene“ ist so reines Kasein, wie man es im Handel bekommen kann. In Mischung I ist vollkommen reines Kasein angewandt.

Mischung I. 2 Abteilungen Rattenjungen von je 8. Abteilung 1 wird auf die Mischung ohne Zusatz gesetzt, Abteilung 2 auf dieselbe Mischung mit Zusatz einer unbedeutenden Menge Milch (2 ccm jedes). Abteilung 2 zeigt ganz normales Wachstum, während Abteilung 1 gar nicht gedeiht. Nach 8 Tagen wechselt man die Mischung um. Hierauf gedeiht 1 gut, während 2 aufhört zu wachsen.

Mischung II. 3 Abteilungen Junge zu je 4. Abteilung 1: kein Zusatz, gedeihen teilweise, aber nur $^1/_2$ im Verhältnis zu normal. Abteilung 2: Zusatz von 0·1 g Kohlextrakt, gedeihen besser, aber doch knapp normal. Abteilung 3: Zusatz von 5 ccm Milch. (Die Tiere waren hier größer als bei den vorhergehenden Versuchen.) Normales Gedeihen.

Dies nur zwei Beispiele. Im ganzen wurden bei den Versuchen 94 Ratten angewandt, wobei Milchzusatz bei den 42, kein Zusatz bei den 52. In jedem einzelnen Fall wachsen die Milchratten viel schneller als die anderen.

Das Auffallendste bei Hopkins Versuchen ist die große Wirkung der geringen Milchmenge. Die Kalorien der Milch machen nur 3 Proz. der Totalkalorien der Nahrung aus. Dies würde, auf den Menschen überführt, bedeuten, daß ein Kind von 2 Jahren, 15 kg wiegend, mit einem Bedarf von 60 Kalorien per Kilogramm, eines Zusatzes von $2 \times 15 = 30$ Kalorien in Milch bedürfen würde. Dies entspricht weniger als 50 ccm oder $^1/_{20}$ Liter.

Wie Hopkins hervorhebt, ist es schwer zu verstehen, was für Stoffe es sein können in der unbedeutenden Milchmenge, die so wirk-

---

gedeihen, jedenfalls $^1/_2$ Jahr, bei reiner Weizenkost + vegetabilischer Margarine (s. *Dies Archiv.* Bd. XXXIII. S. 263). Man kann kaum allzu viel von Tieren auf Menschen schließen.

[1] *The Journal of Physiology.* Vol. XLIV. p. 425.

sam sein können. Kasein kann es nicht sein, da Kasein in Menge im voraus vorhanden ist. Kann es das unbedeutende bißchen Milchalbumin sein? Nein! Es zeigte sich, daß Alkoholauszug aus Milchpulver, der kein Albumin enthält, dieselbe Wirkung hatte. Ebenso hatte der eiweißfreie Kohlextrakt eine ähnliche Wirkung und dasselbe galt von Alkoholauszug von Hefe.

Obgleich diese und andere Tierversuche schwer zu deuten sind, scheint das Ganze doch darauf hinzuweisen, daß die Wirkung der Butter nicht von dem Fettstoff an sich herstammt. Schweinefett ist ja auch Fettstoff. Maisfett ist unwirksam, aber Mais selbst ist wirksam usw. Man kennt die beinahe mystischen Kräfte noch nicht, um die es sich hier dreht. Von „Vitaminen", „A- und B-Stoffen" zu sprechen, nützt ja nicht viel; davon wird man nicht klüger.

Selbst wenn die Resultate klarer wären, würde es schwierig sein, irgendwie von Ratte auf Mensch schließen zu können. Verschiedene Tierarten verhalten sich bekanntlich sehr verschieden in bezug auf Nahrungsbedarf. Dies geht u. a. mit großer Deutlichkeit hervor aus Prof. Axel Holsts (Kristiania) bekannten Versuchen, die zeigten, daß während Meerschweine nicht von irgendwelcher Art Grütze oder Korn leben können, bestehen Tauben ausgezeichnet bei sowohl Hafergrütze als Weizen und Gerste. Ist es aus Fettmangel, daß die Meerschweine zugrunde gehen? Ja es ist gar nicht undenklich, daß ein Zusatz von Butter oder Lebertran den Eintritt des Todes verhindern würde, aber sicher ist es, daß diesem Ausgang vorgebeugt werden könnte durch frisches Gemüse, dagegen nicht durch getrocknetes.

Versuche mit Menschen.

Eigene Versuche mit fettfreier Kost.

Nach dem vorstehenden wird man leicht verstehen, daß wir mit diesen Versuchen nicht ohne gewisse Beängstigung anfingen. Es war ja nicht gut zu wissen, ob meine beiden Madsens mit den Tauben leben oder mit den Meerschweinchen sterben würden, wenn sie auf fettfreie Kornkost gesetzt würden. Hierzu kam, daß man aus den kriegführenden Ländern so viele mehr oder weniger phantastische Berichte hörte über die unglücklichen Zustände, die infolge der fettarmen wesentlichen Brot-Kartoffel-Kohlrübenkost entstanden. Aber unsere tapferen Versuchsindividuen ließen sich durch so wenig nicht abschrecken. Wir erwarteten alle, Mißlichkeiten zu finden, vor allem ein

starkes Fettbedürfnis (Fetthunger), aber auch eventuelle krankhafte Zustände. Aber es war ja ein Trost, zu wissen, daß wenn auf Grund von Fettmangel Krankheit entstände, könne diese sicher durch Fettzuschuß geheilt werden. Man wurde da vor die weitere Aufgabe gestellt, zu prüfen, ein wie großer Zuschuß notwendig sei zur Heilung, eventuell zur Vorbeugung solcher Leiden.

Aber für die Versuchsindividuen war es natürlich vorzuziehen, sich gesund zu erhalten. Nach den Tierversuchen zu urteilen, war Hoffnung vorhanden, durch Zuschuß von Gemüsen oder Frucht Krankheit zu vermeiden. Da die meisten dieser Nahrungsmittel praktisch genommen fettfrei sind, konnten die Versuche hierdurch nicht gestört werden. Durch diesen Zuschuß wurde die Durchführung außerdem in hohem Grade erleichtert. Trockenes Brot oder trockene Kartoffeln zu essen, ist nicht angenehm, aber Kohlsuppe mit Kartoffeln darin und Brot dazu bietet dem Geschmack keine Schwierigkeiten; ebensowenig wie es Überwindung kostet, Brot zu Rhabarber- oder Apfelsuppe zu essen. Solche Zusammensetzungen gehören ja zu der gewöhnlichen täglichen Kost. Aber es ist ja ganz gewiß ein Unterschied darin, Grünkohl mit Brot und Kartoffeln einmal die Woche zu essen oder dasselbe Gericht dreimal am Tage jeden Tag der Woche. Aber es zeigte sich glücklicherweise, daß Gemüse- und Fruchtsuppen nicht zu den Gerichten gehören, die man schnell zuwider wird. Es wurde immer sehr genau darauf gehalten, daß Kohl- und Kartoffelwasser niemals fortgegossen wurde. War zu viel Wasser beim Kohl, wurde es gebraucht, um Kartoffeln darin zu kochen und umgekehrt. War zu einer Mahlzeit keine Gemüse- oder Fruchtsuppe zur Verfügung, begnügten sich die Versuchsindividuen mit Kartoffelsuppe, d. h. das Wasser, in dem die Kartoffeln gekocht waren, wurde zusammen mit Kartoffeln und Brot dazu gegessen. Ausgedehnte Erfahrungen von unseren einjährigen Kartoffelversuchen im Jahre 1912 hatten uns über den Wohlgeschmack des Kartoffelwassers belehrt. Es soll hinzugefügt werden, daß die Kartoffeln immer geschält werden (sehr dünn mit einem Kartoffelschäler) vor dem Kochen. Es ist beinahe unmöglich — jedenfalls für Männer —, ungeschälte Kartoffeln so rein zu waschen, daß das Kochwasser appetitlich bleibt. Nach Meinung der Versuchsindividuen war die größte Unannehmlichkeit bei den Versuchen die große Wassermenge, die konsumiert werden mußte, wenn kein Kochwasser weggegossen werden darf. Hierdurch werden nämlich große Urinmengen verursacht (bis zu 3 bis 4 Liter), was die Mitnahme

größerer Behälter notwendig macht, wenn sie sich außerhalb des Laboratoriums aufhalten. Deshalb wird immer in der geringsten möglichen Wassermenge gekocht und, wie erwähnt, oft dasselbe Kochwasser zu Kohl und Kartoffeln angewandt. Es gab zwei Gründe, weshalb das Kochwasser nicht fortgegossen werden durfte:

1. Rücksicht auf die Analysenarbeit. Da die Analysen in den rohen (Netto) Produkten ausgeführt werden und da ein Teil der Stoffe ins Kochwasser übergeht[1], würde es notwendig sein, vor dem Weggießen das Kochwasser zu analysieren, was eine große Arbeit und einen großen Gasverbrauch bedeuten würde.

2. Rücksicht darauf, daß manches dafür spricht, daß es einige der wertvollsten Stoffe („Vitaminen“) sind, die zuerst ausgezogen werden.

Die Versuchsindividuen waren dieselben, die ich bei so vielen Versuchen benutzt hatte, nämlich Assistent Frederik Madsen und Student Holger Madsen. Beide gesunde und normale Menschen (vgl. S. 110) von 31 bzw. 24 Jahren. Frederik Madsen hat sich in den Jahren 1911 bis Mitte 1916 u. a. folgenden Versuchen unterworfen:

470 Tage mit Brot, Margarine und Wasser.
321 Tage mit Kartoffeln, Margarine und Wasser.
319 Tage mit Brot, Frucht, Margarine und Wasser.
24 Tage mit Kartoffeln, Frucht, Margarine und Wasser.
66 Tage mit Brot, Kartoffeln, Margarine und Wasser.
48 Tage mit Brot, Runkelrüben, Margarine und Wasser.
36 Tage mit Gerstenwassergrütze, Zucker, Frucht, Margarine und Wasser.
145 Tage mit Gerstenwassergrütze, Zucker, Margarine und Wasser.

Holger Madsen kam 2 Jahre später hinzu, doch hat er seitdem treulich mit Frederik Madsen Schritt gehalten. Die meisten der Versuche sind in den früheren Berichten veröffentlicht und es geht daraus hervor, daß die beiden Männer beinahe ganz gleich verdauten und im ganzen gleich auf alle Versuche reagierten. Man kann nicht sagen, daß sie durch vorhergegangene üppige Lebensweise vorbereitet waren, die folgenden strengen Versuche auszuhalten.

[1] Versuche zeigten, daß von 6 bis 21 Proz. der Eiweißstoffe und 21 bis 37 Proz. der Salze ins Kochwasser übergingen, je nachdem, ob man große oder kleine, ganze oder zerschnittene Kartoffeln kochte. Wieviele Vitaminen übergehen, läßt sich ja nicht messen.

Eine unschätzbare Eigenschaft meiner beiden Versuchsindividuen ist ihre einzige Gewissenhaftigkeit und Zuverlässigkeit. Oftmals mußte ich die Frage hören: „Wie können Sie nun sicher darauf sein, daß sie nicht gelegentlich außerhalb des Laboratoriums etwas essen, was nicht erlaubt ist?" Hierauf habe ich immer geantwortet: „Jedem, der beweisen kann, daß Frederik oder Holger Madsen auch nur einen Nußkern außer der Versuchskost gegessen hat, bezahle ich 1000 Kronen bar." Das kann ich gern versprechen! Ich kenne meine Leute. Wie oft habe ich ihre Freunde und Bekannte ihre Verwunderung darüber aussprechen hören, daß es ihnen nicht möglich war, die Versuchsindividuen dazu zu bringen, auch nur das Geringste zu essen, was nicht zum Speisezettel gehörte.

Erstes Versuchsjahr

umfaßt den Zeitraum vom 25. August 1916 bis 8. Juli 1917.

Die angewandten Nahrungsmittel mit entsprechenden Analysen sind auf nachstehender Tabelle angeführt:

In frischer Substanz	Wasser	Trockensubstanz	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	in kg
Grobes Weizenbrot[1]	36·19	63·81	8·44	1·01	1·52	52·84	2768
Weißbrot [1] . . .	31·78	68·22	8·63	0·97	1·08	57·54	2970
Schwarzbrot[1] . . .	38·00	62·00	8·67	1·35	2·14	49·84	2688
Gerstengrütze . .	15·43	84·57	8·10	1·14	1·32	74·01	3640
Kartoffelmehl . .	18·76	81·24	0·09	—	0·30	80·85	3660
Zucker	1·27	98·73	—		0·55	98·18	3927
Kartoffeln	75·00	25·0	1·90	—	1·00	22·10	1025
Weißkohl.	93·12	6·88	1·30	(0·19)	0·67	4·91	278
Spitzkohl.	92·91	7·09	0·70	(0·23)	0·60	5·79	280
Grünkohl.	86·91	13·09	3·56	(0·72)	1·86	7·67	521
Äpfel	88·23	11·77	0·31	(0·09)	0·37	11·09	478
Erdbeeren	89·15	10·85	0·85	—	0·52	9·48	442
Rhabarber (Ekstr.)	96·32	3·68	0·30	—	0·74	2·64	127
Magermilch . . .	90·35	9·65	2·88	0·73	0·77	5·27	451

[1] Grobes Weizenbrot ist aus ungesiebtem, Weißbrot aus gesiebtem Mehl gebacken. Schwarzbrot ist unser dänisches Nationalbrot, das aus ganz ungesiebtem, grob geschrotenem Mehl gebacken ist.

In Trockensubstanz	Eiweiß Proz.	Fett Proz.	Asche Proz.	Kohlehydrate Proz.	Kalorien in kg
Grobes Weizenbrot	15·22	1·38	2·38	82·82	4337
Weißbrot	12·65	1·42	1·58	84·35	4354
Schwarzbrot	13·98	2·18	3·45	80·39	4335
Gerstengrütze	9·58	1·35	1·56	86·51	4304
Kartoffelmehl	1·11	—	0·37	99·52	4152
Kartoffeln	7·60	—	4·00	88·40	4100
Weißkohl	18·90	2·76)	9·74	71·36	4039
Spitzkohl	9·87	(3·24)	8·46	81·67	3948
Grünkohl	27·20	(5·50)	14·21	58·59	3980
Äpfel	2·64	(0·76)	3·14	94·22	4428
Erdbeeren	7·83	—	4·79	87·38	4074
Rhabarber	8·15	—	20·11	71·74	3451
Magermilch	29·85	7·56	7·98	54·93	7674

Bei den am meisten angewandten Nahrungsmitteln geben die Zahlen den Durchschnitt für eine Reihe von Analysen an.

Die einzelnen Analysen gaben folgendes Resultat:

	Trockensubstanz	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Anal.-Nr.
Grobes Weizenbrot	64·65	8·46	1·04	1·49	53·66	529
,, ,,	61·84	8·31	1·03	1·46	51·04	534
,, ,,	63·85	8·76	1·00	1·47	52·62	536
,, ,,	64·91	8·26	0·97	1·67	54·01	540
Weißbrot	66·98	8·74	0·77	0·69	56·78	528
,, ...	66·96	8·99	0·86	1·12	55·99	533
,, ...	68·66	8·38	1·00	0·98	58·30	538
,, ...	70·31	8·38	1·23	1·51	59·19	541
Weißkohl	9·27	1·51	(0·30)	0·83	6·93	—
,, ...	5·24	1·01	(0·14)	0·54	3·69	545
,, ...	6·13	1·37	(0·16)	0·63	4·13	546
Kartoffeln	23·41	1·43	—	0·90	21·08	531
,, ...	26·64	2·38	—	1·18	23·08	539
Kartoffeln, durchs.	25·02	1·91	—	1·04	22·08	—

Diese zwei Kartoffelanalysen sind der Durchschnitt für zwei größere Kartoffelvorräte, die wir in der ersten Hälfte des Winters benutzten. In der letzten Hälfte war es sehr schwierig, Kartoffeln zu beschaffen. Wir mußten in kleinen Portionen kaufen, wodurch die Analysierung zu beschwerlich wurde. Wir hielten uns deshalb an die angeführten

Durchschnittszahlen — etwas abgerundet —. Daß diese Zahlen kaum weit vom Durchschnitt für dänische Kartoffeln liegen, geht aus Vergleichen der früher von uns ausgeführten Analysen hervor:

	Trocken-substanz	Eiweiß	Asche	Kohle-hydrate	Anal.-Nr.
Kartoffeln 1911	22·77	1·70	0·96	20·11	15
„ 1911	25·55	1·88	0·99	22·68	51
„ 1911	25·36	1·70	1·16	22·50	66
„ 1911	23·14	1·42	1·08	20·64	69
Durchschnitt	24·20	1·67	1·05	21·48	—
Kartoffeln 1912 13. I. . . .	26·34	1·95	1·01	23·38	154
„ 1912 4. III. . .	25·20	1·20	0·81	23·19	180
„ 1912 25. III. . .	26·42	2·53	0·76	23·13	183
„ 1912 4. V. . .	26·57	2·44	0·76	23·37	217
„ 1912 24. IV. . .	26·10	1·45	0·82	23·83	218
„ 1912 17. II. . .	22·34	2·04	0·84	19·46	219
„ 1912 17. II. . .	26·63	2·18	1·08	23·38	220
„ 1912 9. VIII. .	24·99	1·54	0·97	22·48	250
Durchschnitt	25·58	1·92	0·88	22·78	—

Diese Analysen gelten alle für reife Winterkartoffeln. Der Hauptdurchschnitt für alle Analysen wird:

	Trocken-substanz	Eiweiß	Asche	Kohle-hydrate
Winterkartoffeln	25·10	1·85	0·95	22·31

Unreife Sommerkartoffeln haben dagegen einen etwas geringeren Inhalt, z. B.:

	Trocken-substanz	Eiweiß	Asche	Kohle-hydrate
Kartoffeln 1912 9. VIII. . . .	16·96	1·88	0·76	14·32
„ 1912 19. VIII. . . .	21·51	1·23	0·79	19·49
„ 1912 25. VIII. . . .	19·64	1·04	0·77	17·83
Durchschnitt	17·37	1·38	0·77	17·22

Solche Kartoffeln wurden nicht in der genannten Versuchsreihe angewandt.

Größtes Interesse hat in diesem Falle der Fettinhalt, der im Brot bestimmt ist durch die Ausschüttungsmethode nach Invertierung der Stärke mit Salzsäure. Einfache Ätherextraktion gibt zu niedrige Zahlen. Im Kohl findet sich im Verhältnis zum Trockenstoffinhalt nicht so wenig Ätherextrakt. Aber es ist dies nicht wirklich Fett, wie sich leicht nachweisen läßt durch Verseifungsversuche. Was es ist, kann ich nicht sagen (etwas ist Chlorophyll). Es ist nicht undenklich, daß

sich hierin u. a. einige von den Stoffen befinden, die für das Leben so wesentlich sind und die sich erfahrungsgemäß in Gemüsen finden. Bei unseren Berechnungen haben wir den Kohlätherextrakt nicht mit zum Fett, sondern zum Rest (Kohlehydrat) gerechnet.

Die Zahlen für Rhabarber geben an, wieviel Nahrungsstoffe durch Kochen mit Wasser aus 100 Rhabarberstengeln ausgezogen werden. Die Stengel selbst werden weggeworfen.

Bei Umrechnung der Zahlen im Verhältnis zu Trockenstoff bekommt man ein klares Bild davon, wie verhältnismäßig eiweißreich und salzreich in Wirklichkeit die Gemüse sind. Daran denkt man im allgemeinen nicht. Es überraschte mich, in gewissen Perioden zu sehen, wie hoch unsere Versuchsindividuen mit Eiweiß kamen. Ich fand da, daß die Ursache dazu war, daß sie etwa 1 kg Grünkohl verzehrt hatten, der 35 g Roheiweiß enthielt.

Mit Hilfe der angeführten Analysenzahlen sowie der entsprechenden Zahlen für Exkremente (vgl. S. 130) sind nun folgende Resultate für die einzelnen, 10 Tage (später 20 Tage) dauernden Perioden ausgerechnet worden. Zur leichteren Übersicht sind nur Durchschnittszahlen per Tag angeführt.[1]

Frederik Madsen.

1. 25. August bis 3. September = 10 Tage.

Kost: 450[2] Weizenbrot, 450 Weißbrot, 500 Kartoffeln, 90 Kartoffelmehl, 900 Spitzkohl, 210 Zucker, 400 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	3000	1078	15·02	93·9	8·9	26·5	949	4525
Exkr.	310	61	2·80	17·5	6·3	7·4	30	296
Verdaut		1017	12·22	76·4	2·6	19·1	919	4229
Urin	2860		11·12					
N-Bilanz			+1·10					
Verlust in Proz.		5·7		18·6	70·8	27·9	3·2	6·5

2. 4. bis 13. September = 10 Tage.

Kost: 480 Weizenbrot, 430 Weißbrot, 450 Kartoffeln, 100 Kartoffelmehl, 1000 Spitzkohl, 220 Zucker, 450 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	3130	1098	15·13	94·6	9·0	27·3	967	4604
Exkr.		60	2·54	15·9	6·9	8·5	28	287
Verdaut		1038	12·59	78·7	2·1	18·8	939	4317
Urin	4310		11·23					
N-Bilanz			+1·36					
Verlust in Proz.		5·5		16·8	76·6	31·1	2·9	6·2

[1] Unsere Haupttabellen, wovon die Durchschnittszahlen ausgerechnet sind, sind nicht mitgegeben, weil sie wahrscheinlich kein Interesse haben würden. Sie können aber, wenn erwünscht, eingesandt werden.

[2] Die Zahlen geben Gramm an.

(Fortsetzung.)

3. 14. bis 23. September = 10 Tage.

Kost: 560 Weizenbrot, 310 Weißbrot, 330 Kartoffeln, 80 Kartoffelmehl, 550 Grünkohl, 300 Zucker, 300 Rhabarber, 100 Magermilch.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2530	1105	16·59	103·7	9·4	30·3	962	4626
Exkr.		72	3·14	19·6	8·4	10·5	33	351
Verdaut		1033	13·45	84·1	1·0	19·8	929	4275
Urin	2980		11·19					
N-Bilanz			+2·26					
Verlust in Proz.		6·5		18·9	89·4	34·7	3·4	7·7

4. 24. September bis 10. Oktober = 10 Tage.

Kost: 540 Weizenbrot, 290 Weißbrot, 560 Kartoffeln, 20 Kartoffelmehl, 800 Grünkohl, 320 Zucker, 100 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2630	1123	17·60	110·0	8·3	34·4	970	4684
Exkr.	470	79	3·66	22·9	9·5	10·9	36	392
Verdaut		1044	13·94	87·1	1·2	23·5	934	4292
Urin	3420		12·22					
N-Bilanz			+1·72					
Verlust in Proz.		7·0		20·8		31·7	3·7	8·4

5. 4. bis 13. Oktober = 10 Tage.

Kost: 500 Weizenbrot, 460 Weißbrot, 1200 Kartoffeln, 80 Kartoffelmehl, 200 Zucker, 200 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2640	1203	16·85	105·3	9·5	27·4	1061	5060
Exkr.		54	2·37	14·8	5·7	7·3	26	258
Verdaut		1149	14·48	90·5	3·8	20·1	1035	4802
Urin	3680		11·10					
N-Bilanz			+3·38					
Verlust in Proz.		4·5		14·1	60·0	26·6	2·5	5·1

6. 14. bis 23. Oktober = 10 Tage.

Kost: 720 Weizenbrot, 530 Weißbrot, 1220 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 150 Zucker, 300 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2950	1310	20·89	130·6	12·4	32·0	1135	5546
Exkr.		72	2·94	18·4	7·7	8·2	37	357
Verdaut		1238	17·95	112·2	4·7	23·8	1098	5189
Urin	3195		11·15					
N-Bilanz			+6·80					
Verlust in Proz.		5·5		14·1	62·1	25·6	3·3	6·4

7. 24. Oktober bis 2. November = 10 Tage.

Kost: 720 Weizenbrot, 530 Weißbrot, 1220 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 100 Zucker, 100 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2700	1253	20·80	130·0	12·4	30·2	1080	5324
Exkr.		70	2·81	17·6	7·8	8·0	36	354
Verdaut		1183	17·99	112·4	4·6	22·2	1044	4970
Urin	3377		11·54					
N-Bilanz			+6·45					
Verlust in Proz.		5·6		13·5	62·9	26·5	3·3	6·6

(Fortsetzung.)

8. 3. bis 12. November = 10 Tage.

Kost: 700 Gerstengrütze, 260 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	960	849	9·10	56·9	8·0	10·7	773	3569
Exkr.	180	41	2·10	13·1	8·1	5·6	14	218
Verdaut		808	7·00	43·8	−0·1	5·1	759	3251
Urin	2900		9·15					
N-Bilanz			−2·15					
Verlust in Proz.		4·8		23·0		53·3	1·8	6·1

9. 14. bis 23. November = 10 Tage.

Kost: 840 Gerstengrütze, 350 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	1290	1056	10·92	68·3	9·6	13·0	965	4432
Exkr.	250	55	3·25	20·3	9·6	7·7	17	292
Verdaut		1001	7·67	58·0	0·0	5·3	948	4140
Urin	4100		6·81					
N-Bilanz			+0·96					
Verlust in Proz.		5·2		29·7		29·2	1·8	6·6

10. 24. November bis 3. Dezember = 10 Tage.

Kost: 750 Gerstengrütze, 290 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	1040	921	9·75	60·9	8·6	11·5	840	3869
Exkr.	280	59	2·74	17·1	10·1	8·8	23	305
Verdaut		862	7·01	43·8	—1·5	2·7	817	3564
Urin	3100		7·75					
N-Bilanz			—0·74					
Verlust in Proz.		6·4		28·1		78·5	2·7	7·9

11. 4. bis 20. Dezember = 17 Tage.

Kost: 688 Weizenbrot, 471 Weißbrot, 371 Kartoffeln, 65 Kartoffelmehl, 1488 Weißkohl, 176 Zucker, 353 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	3212	1194	19·35	120·9	11·5	29·0	1034	5064
Exkr.	488	85	3·27	20·9	8·7	11·8	44	414
Verdaut		1109	16·08	100·5	2·8	17·2	990	4650
Urin	3957		12·52					
N-Bilanz			+3·66					
Verlust in Proz.		7·1		16·9	75·7	40·7	4·3	8·2

12. 10. bis 19. Januar = 10 Tage.

Kost: 810 Weizenbrot, 440 Weißbrot, 290 Kartoffeln, 70 Kartoffelmehl, 770 Weißkohl, 150 Zucker, 250 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2780	1177	19·62	122·6	12·5	27·1	1015	5004
Exkr.	430	73	2·93	18·3	7·1	9·9	37	356
Verdaut		1104	16·69	104·3	5·4	17·2	978	4648
Urin	3716		14·22					
N-Bilanz			+2·47					
Verlust in Proz.		6·2		14·9	56·8	36·5	3·6	7·1

(Fortsetzung.)

13. 20. bis 29. Januar = 10 Tage.

Kost: 965 Weizenbrot, 415 Weißbrot, 550 Katroffeln, 70 Kartoffelmehl, 720 Weißkohl, 150 Zucker, 800 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	3670	1385	22·33	139·5	13·8	33·5	1198	5874
Exkr.	480	98	4·22	26·4	9·8	12·7	50	485
Verdaut		1287	18·11	113·1	4·0	20·8	1148	5389
Urin	3584		16·21					
N-Bilanz			+1·90					
Verlust in Proz.		7·1		18·9	71·0	37·9	4·2	8·3

14. 30. Januar bis 18. Februar = 20 Tage.

Kost: 756 Weizenbrot, 551 Weißbrot, 350 Kartoffeln, 45 Kartoffelmehl, 390 Weißkohl, 90 Zucker, 450 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2632	1151	19·91	124·4	13·0	25·4	987	4915

15. 19. Februar bis 10. März = 20 Tage.

Kost: 812 Weizenbrot, 544 Weißbrot, 318 Kartoffeln, 50 Kartoffelmehl, 322 Weißkohl, 115 Zucker, 420 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2581	1195	20·32	127·0	13·5	25·9	1028	4948

16. 11. bis 30. März = 20 Tage.

Kost: 757 Weizenbrot, 536 Weißbrot, 216 Kartoffeln, 15 Kartoffelmehl, 676 Weißkohl, 90 Zucker, 155 Äpfel, 25 Gerstengrütze.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2470	1090	20·08	125·5	13·2	25·5	926	4667

17. 31. März bis 19. April = 20 Tage.

Kost: 594 Weizenbrot, 328 Weißbrot, 412 Schwarzbrot, 374 Kartoffeln, 686 Weißkohl, 88 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2482	1086	28·83	130·2	14·8	30·2	911	4645

18. 20. April bis 9. Mai = 20 Tage.

Kost: 790 Weizenbrot, 260 Weißbrot, 376 Schwarzbrot, 645 Kartoffeln, 161 Weißkohl, 76 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2308	1161	21·76	136·0	15·6	30·8	979	4972
Exkr.	655	120	4·52	28·3	11·0	14·6	66	581
Verdaut		1041	17·24	107·7	4·6	16·2	913	4391
Urin	2234		15·64					
N-Bilanz			+1·60					
Verlust in Proz.		10·4		20·8	70·5	47·4	6·7	11·7

19. 30. Mai bis 18. Juni = 20 Tage.

Kost: 552 Weizenbrot, 241 Weißbrot, 505 Schwarzbrot, 393 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 100 Zucker, 165 Rhabarber.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	1986	1057	19·06	119·1	14·7	27·6	896	4518
Exkr.	525	104	3·92	24·5	9·8	11·9	58	508
Verdaut		953	15·14	94·6	4·9	15·7	838	4010
Urin	1382		11·37					
N-Bilanz			+3·77					
Verlust in Proz.		9·8		20·6	66·7	43·1	6·5	11·2

(Fortsetzung.)

20. 19. Juni bis 8. Juli = 20 Tage.

Kost: 575 Weizenbrot, 209 Weißbrot, 226 Schwarzbrot, 785 Kartoffeln, 13 Kartoffelmehl, 83 Zucker, 55 Rhabarber, 625 Erdbeeren.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2571	1007	17·06	106·6	10·9	27·9	862	4275
Exkr.	410	95	4·55	28·4	12·1	10·1	44	495
Verdaut		912	12·51	78·2	−1·2	17·8	818	3780
Urin	1142		9·28					
N-Bilanz			+3·23					
Verlust in Proz.		9·4		26·6		36·3	5·1	11·6

Holger Madsen.

1. 25. August bis 3. September 1916 = 10 Tage.

Kost: 500 Weizenbrot, 150 Weißbrot, 410 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 800 Spitzkohl, 150 Zucker, 300 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2340	764	11·11	69·5	6·5	21·3	667	3202
Exkr.	330	54	2·25	14·1	5·1	5·4	29	271
Verdaut		710	8·86	55·4	1·4	15·9	638	2931
Urin	1060		8·25					
N-Bilanz			+0·61					
Verlust in Proz.		7·1		20·3	78·5	25·4	4·3	8·5

2. 4. bis 13. September = 10 Tage.

Kost: 380 Weizenbrot, 240 Weißbrot, 340 Kartoffeln, 70 Kartoffelmehl, 1100 Spitzkohl, 200 Zucker, 400 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2730	838	10·91	68·2	6·2	22·6	741	3493
Exkr.	300	48	2·06	12·9	4·1	5·0	23	229
Verdaut		790	8·85	55·3	2·1	17·6	718	3264
Urin	1555		7·65					
N-Bilanz			+1·20					
Verlust in Proz.		5·7		18·9	66·1	22·1	3·1	6·6

3. 14. bis 23. September = 10 Tage.

Kost: 300 Weizenbrot, 360 Weißbrot, 410 Kartoffeln, 20 Kartoffelmehl, 20 Weizenmehl, 1000 Grünkohl, 240 Zucker, 100 Rhabarber, 50 Magermilch.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2500	949	16·59	103·7	7·1	33·8	805	3961
Exkr.	300	53	2·36	14·8	6·0	7·1	25	268
Verdaut		896	14·23	88·9	1·1	26·7	780	3693
Urin	2388		9·31					
N-Bilanz			+4·92					
Verlnst in Proz.		5·6		14·3	84·5	21·0	3·1	6·8

4. 24. September bis 3. Oktober = 10 Tage.

Kost: 220 Weizenbrot, 470 Weißbrot, 260 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 930 Grünkohl, 300 Zucker, 150 Rhabarber.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2360	974	15·62	97·6	6·8	31·2	838	4054
Exkr.	370	60	2·73	17·1	7·6	7·5	28	292
Verdaut		914	12·89	80·5	−0·8	23·7	810	3762
Urin	1617		11·05					
N-Bilanz			+1·84					
Verlust in Proz.		6·2		17·5		24·0	3·3	7·2

(Fortsetzung.)

5. 4. bis 13. Oktober = 10 Tage.

Kost: 160 Weizenbrot, 620 Weißbrot, 250 Kartoffeln, 70 Kartoffelmehl, 220 Zucker, 400 Rhabarber.

	Menge	Trockensub tanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	1720	876	11·68	73·0	7·6	16·0	780	3691
Exkr.	200	32	1·90	11·9	4·1	3·9	12	170
Verdaut		844	9·78	61·1	3·5	12·1	768	3521
Urin	1134		8·12					
N-Bilanz			+1·66					
Verlust in Proz.		3·7		16·3	53·9	24·4	1·5	4·6

6. 14. bis 23. Oktober = 10 Tage.

Kost: 150 Weizenbrot, 550 Weißbrot, 1000 Kartoffeln, 40 Kartoffelmehl, 140 Zucker, 300 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2180	927	12·81	80·1	6·9	20·2	820	3902
Exkr.	150	29	1·45	9·1	3·7	3·3	13	144
Verdaut		898	11·36	71·0	3·2	16·9	807	3758
Urin	1547		8·89					
N-Bilanz			+2·47					
Verlust in Proz.		3·1		11·4	53·2	16·3	1·6	3·7

7. 24. Oktober bis 2. November = 10 Tage.

Kost: 80 Weizenbrot, 600 Weißbrot, 700 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 90 Zucker, 200 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	1700	772	11·59	72·5	6·6	16·0	677	3271
Exkr.	220	35	1·93	12·1	4·4	4·3	14	173
Veradut		737	9·66	60·4	2·2	1117	663	3098
Urin	1778		8·89					
N-Bilanz			+0·77					
Verlust in Proz.		4·5		16·7	66·7	26·9	2·1	5·3

8. 3. bis 11. November = 10 Tage.

Kost: 500 Gerstengrütze, 390 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	890	808	6·50	40·6	5·7	8·8	753	3351
Exkr.	150	34	1·81	11·3	5·7	3·9	13	174
Verdaut		774	4·69	29·3		4·9	740	3177
Urin	1966		5·84					
N-Bilanz			−1·15					
Verlust in Proz.		4·2		27·8		44·3	1·7	5·2

9. 14. bis 23. November = 10 Tage.

Kost: 420 Gerstengrütze, 300 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	720	651	5·46	34·1	4·8	7·2	605	2707
Exkr.	150	36	1·84	11·5	5·4	3·5	15	199
Verdaut		615	3·62	22·6	−0·6	3·7	590	2508
Urin	2967		8·73					
N-Bilanz			−5·11					
Verlust in Proz.		5·5		33·7		48·6	2·5	7·4

(Fortsetzung.)

10. 24. November bis 3. Dezember = 10 Tage.

Kost: 600 Gerstengrütze, 370 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	970	873	7·80	48·8	6·8	10·0	807	3637
Exkr.	300	63	2·93	18·3	9·5	7·0	28	322
Verdaut		810	4·87	30·5	−2·7	3·0	779	3315
Urin	1778		4·46					
N-Bilanz			+0·41					
Verlust in Proz.		7·2		37·5		70·0	3·5	8·9

11. 4. bis 20. Dezember = 17 Tage.

Kost: 212 Weizenbrot, 470 Weißbrot, 59 Kartoffelmehl, 1588 Weißkohl, 294 Zucker, 565 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	3188	970	12·93	80·8	6·7	22·8	860	4048
Exkr.	335	50	2·41	15·1	6·0	7·3	22	260
Verdaut		920	10·52	65·7	0·7	15·5	838	3788
Urin	2108		8·95					
N-Bilanz			+1·57					
Verlust in Proz.		5·2		18·7		32·0	2·6	6·4

12. 10. bis 19. Januar 1917 = 10 Tage.

Kost: 390 Weizenbrot, 530 Weißbrot, 520 Kartoffeln, 70 Kartoffelmehl, 1820 Weißkohl, 230 Zucker, 650 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	4210	1226	18·26	114·1	9·1	32·9	1070	5142
Exkr.	300	51	2·22	13·9	5·9	6·6	25	258
Verdaut		1175	16·04	100·2	3·2	26·3	1045	4884
Urin	2899		12·64					
N-Bilanz			+3·40					
Verlust in Proz.		4·2		12·2	64·8	20·1	2·3	5·0

13. 20. bis 29. Januar = 10 Tage.

Kost: 540 Weizenbrot, 540 Weißbrot, 40 Kartoffelmehl, 1440 Weißkohl, 110 Zucker, 300 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2970	989	17·88	111·8	10·7	25·5	840	4209
Exkr.	300	55	2·39	14·9	6·3	7·2	27	275
Verdaut		934	15·49	96·9	4·4	18·3	813	3934
Urin	2750		13·99					
N-Bilanz			+1·50					
Verlust in Proz.		5·6		13·3	58·9	28·2	3·2	6·5

14. 30. Januar bis 18. Februar = 20 Tage.

Kost: 480 Weizenbrot, 428 Weißbrot, 20 Kartoffelmehl, 755 Weißkohl, 80 Zucker, 390 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2153	791	14·14	88·4	9·0	18·9	675	3376
Exkr.	330	66	2·88	18·0	6·9	8·4	33	307
Verdaut		725	11·26	70·4	2·1	10·5	642	3069
Urin	1333		11·08					
N-Bilanz			+0·18					
Verlust in Proz.		8·3		20·4	76·7	44·4	4·9	9·1

(Fortsetzung.)

15. 19. Februar bis 10. März = 20 Tage.

Kost: 478 Weizenbrot, 468 Weißbrot, 30 Kartoffelmehl, 822 Weißkohl, 100 Zucker, 200 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2098	827	14·71	91·9	9·4	19·2	707	3529
Exkr.	320	65	2·50	15·6	6·7	8·4	34	315
Verdaut		762	12·21	76·3	2·7	10·8	673	3214
Urin	1392		12·21					
N-Bilanz			— —					
Verlust in Proz.		7·9		17·0	71·3	43·8	4·8	8·9

16. 11. bis 30. März = 20 Tage.

Kost: 484 Weizenbrot, 606 Weißbrot, 25 Kartoffeln, 20 Kartoffelmehl, 904 Weißkohl, 75 Zucker, 300 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2414	916	16·99	106·2	10·8	21·8	777	3920
Exkr.	350	69	2·62	16·4	6·9	8·8	37	347
Verdaut		847	14·37	89·8	3·9	13·0	740	3573
Urin	1273		13·49					
N-Bilanz			+0·88					
Verlust in Proz.		7·5		15·4	63·9	40·4	4·8	8·9

17. 31. März bis 19. April = 20 Tage.

Kost: 521 Weizenbrot, 315 Weißbrot, 202 Schwarzbrot, 10 Kartoffelmehl, 748 Weißkohl, 140 Zucker, 260 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2196	901	15·86	99·1	11·1	22·4	768	3836
Exkr.	325	59	2·22	13·9	5·9	7·3	31	288
Verdaut		842	13·64	85·2	5·2	15·1	737	3548
Urin	1194		12·00					
N-Bilanz			+1·64					
Verlust in Proz.		6·5		14·0	53·2	32·6	4·0	7·5

18. 20. April bis 9. Mai = 20 Tage.

Kost: 420 Weizenbrot, 384 Weißbrot, 101 Schwarzbrot, 330 Kartoffeln, 831 Weißkohl, 105 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2171	836	15·09	94·3	9·4	22·2	710	3556
Exkr.	345	63	2·52	15·7	6·6	7·7	33	309
Verdaut		773	12·57	78·6	2·8	14·5	677	3247
Urin	1357		10·38					
N-Bilanz			+2·19					
Verlust in Proz.		7·5		16·6	70·2	34·7	4·6	8·7

19. 10. bis 29. Mai = 20 Tage.

Kost: 426 Weizenbrot, 304 Weißbrot, 125 Schwarzbrot, 850 Kartoffeln, 185 Weißkohl, 110 Zucker.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2000	890	14·65	91·5	9·0	22·8	767	3773
Exkr.	295	52	1·96	12·2	5·7	6·5	28	267
Verdaut		838	12·69	79·3	3·3	16·3	739	3506
Urin	1183		7·74					
N-Bilanz			+4·95					
Verlust in Proz.		5·8		13·3	63·3	28·5	3·7	7·1

(Fortsetzung.)

20. 30. Mai bis 18. Juni = 20 Tage.

Kost: 230 Weizenbrot, 172 Weißbrot, 650 Kartoffeln, 15 Kartoffelmehl, 75 Zucker, 55 Rhabarber.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	1198	515	7·49	46·8	4·0	12·8	452	2167
Exkr.	200	37	1·37	8·5	4·1	4·4	20	190
Verdaut		478	6·13	38·3	–0·1	8·4	432	1977
Urin	1238		7·65					
N-Bilanz			–1·52					
Verlust in Proz.		7·2		18·2		34·4	4·4	8·8

21. 19. Mai bis 6. Juni = 18 Tage.

Kost: 188 Weizenbrot, 138 Weißbrot, 1166 Kartoffeln, 11 Kartoffelmehl, 67 Zucker, 28 Rhabarber, 283 Erdbeeren.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	1881	612	8·39	52·4	3·2	18·1	538	2553
Exkr.	178	36	1·55	9·7	3·2	3·9	20	187
Verdaut		576	6·84	42·7		14·2	518	2366
Urin	1044		6·34					
N-Bilanz			+0·50					
Verlust in Proz.		5·9		18·5		21·5	3·7	7·3

Untenstehende Zahlen geben eine Übersicht über den Verbrauch der verschiedenen Rohprodukte per Tag. Der Kürze wegen haben wir die Perioden in Gruppen zusammengestellt und die Durchschnittszahlen angeführt. Wir haben Perioden zusammengestellt, wo die Kost der beiden Versuchsindividuen ungefähr die gleiche war.

Durchschnittsverbrauch von Nahrungsmitteln per Tag.

(F. M. = Frederik Madsen. H. M. = Holger Madsen.)

Perioden Nr.		Weizen-brot	Weiß-brot		Kar-toffeln	Kart.-mehl	Kohl	Zucker	Rha-barber	Frucht
		g	g		g	g	g	g	g	g
1 bis 4	F. M.	508	370		460	72	812	262	312	–
1 „ 4	H. M.	350	305		355	38	958	222	238	–
5 „ 7	F. M.	647	507	Grütze	1213	47		150	200	
5 „ 7	H. M.	130	590	g	650	47		150	133	167
8 „ 10	F. M.	—	—	763	—	—		300	—	—
8 „ 10	H. M.	—	—	507	—	—		353	—	
11 „ 13	F. M.	821	442	—	403	68	859	159	—	468
13 „ 16	H. M.	495	510	Schwarz-brot g	7	28	980	91	—	298
18 „ 20	F. M.	639	237	369	608	14	54	86	73	208
17 „ 21	H. M.	357	263	86	599	7	353	100	17	109

Folgende Zahlen geben den Prozentverlust durch Exkremente für die entsprechenden Perioden an.

Perioden Nr.		Tage	Trockensubstanz	Eiweiß	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
1 bis 4	F. M.	40	6·2	19	31	3·3	7·2
1 ,, 4	H. M.	40	6·1	18	23	3·5	7·3
5 ,, 7	F. M.	30	5·2	14	26	3·0	6·0
5 ,, 7	H. M.	30	3·8	15	23	1·7	4·5
8 ,, 10	F. M.	30	5·5	27	63	2·1	6·9
8 ,, 10	H. M.	30	5·6	33	54	2·6	7·2
11 ,, 13	F. M.	30	6·8	17	38	4·0	7·9
13 ,, 16	H. M.	70	7·3	16	39	4·4	8·4
18 ,, 20	F. M.	60	9·9	23	42	6·1	11·5
17 ,, 21	H. M.	98	6·6	17	30	4·1	7·9

Den besten Ausdruck für den Totalverlust bekommt man durch die Zahlen für Trockenstoff und Kalorien. Diese Zahlen schließen sich wie gewöhnlich schön aneinander an. Nur ist der Kalorienverlust prozentweise etwas höher als der Trockenstoffverlust. Der Durchschnittsverlust für Kalorien wird für gewöhnliche gemischte Kost auf 8·1 Proz. (Rubner) angegeben, schwankend zwischen 4·8 und 13·9 Proz. Für Eiweiß schwankt der Verlust zwischen 3·8 und 53·4 Proz. Tigerstedt[1] schlägt vor, bei Anstaltskost mit einem Durchschnittsverlust von 10 und 25 Proz. für Kalorien bzw. Eiweiß zu rechnen. Es ist interessant zu sehen, daß der Verlust bei der angewandten reinen Pflanzenkost, ohne Spur von tierischem Zusatz, in keiner Weise den Durchschnittsverlust bei gemischter Kost übersteigt.

Vergleichen wir die beiden Versuchsindividuen, so sieht man, daß sie schön miteinander Schritt halten. Abweichungen lassen sich leicht erklären durch den Unterschied in der Zusammensetzung der Kost. Halten wir uns an die Trockenstoffzahlen, so finden wir den kleinsten Verlust bei Holger Madsen, Periode 5 bis 7. Dies erklärt sich leicht, wenn man darauf sieht, daß die Kost meistens aus Weißbrot und Kartoffeln besteht, betreffend welcher Nahrungsmittel wir früher gefunden haben, daß der Verlust nur 2 bis 3 Proz. beträgt. Daß der Verlust hier etwas größer ist, erklärt sich durch den Zusatz von grobem Weizenbrot, Rhabarber und Obst. Daß Frederik Madsen in den entsprechenden Perioden größeren Verlust hat, erklärt sich leicht durch den fünffachen Verbrauch von Weizenbrot aus ungesiebtem Mehl, das

[1] Tigerstedt, *Lehrbuch der Physiologie.* 5. Aufl. Bd. I. S. 176.

allein genossen — zusammen mit Margarine — einen Verlust von etwa 8 Proz. gibt.

Perioden 1 bis 4 weichen von Perioden 5 bis 7 ab durch kleineren Verbrauch von Kartoffeln mit größerem Verbrauch von Kohl. Hierdurch wird der Verlust etwas größer. Es muß aber erstaunlich sein, daß der Genuß von gegen 1 kg Weißkohl per Tag keinen größeren Verlust bewirkt, als es der Fall ist.

Die Kost in den Perioden 13 bis 16 und 11 bis 13 ähnelt der letztbesprochenen, nur kommt noch Obst hinzu, welches den Verlust etwas erhöht. Dies stimmt gut überein mit unseren früheren ausgedehnten Versuchen betreffs Fruchtzusatz.

In den Perioden 17 bis 21 geht bei Holger Madsen der Verlust etwas herab bei kleinerem Verbrauch von Kohl und Frucht. Der hierdurch erfolgende geringe Zurückgang wird nicht ganz aufgewogen durch die geringe Menge groben Roggenbrotes (ungesiebtes). Dagegen ist bei Frederik Madsen in den entsprechenden Perioden — 18, 20 und 21 — der Zuschuß von Roggenbrot groß genug, um in nicht geringem Grade auf den Prozentverlust einzuwirken.

Für Perioden 8 bis 10 bestand die Kost ausschließlich aus Gerstengrütze und Zucker. Perioden 8 und 9 sind früher schon teilweise besprochen.[1] Doch ist nur der Einfluß des Kochens besprochen. Wir stellen hier jedoch gleichzeitig Versuche an mit dem Einfluß des Kauens auf die Verdauung. In Periode 8 kochte die Grütze nur $^1/_2$ Stunde und wurde auf gewöhnliche Weise gegessen, d. h. ohne nennenswertes Kauen. Im voraus dachten wir uns, daß diese halbgekochten Flocken auf diese Weise weniger gut verdaut werden würden, daß man jedoch der Verdauung nachhelfen könne durch sehr sorgfältiges Kauen à la Fletcher. Zu unserem großen Erstaunen war das Resultat umgekehrt. Unstehende Zahlen geben eine Übersicht über dieses Verhältnis.

Also das starke Kauen setzt die Verdaulichkeit durchwegs herab. Dies ist fast unglaublich. Man wird beinahe geneigt sein, das Ganze für eine reine Zufälligkeit zu halten. Doch daß beide Versuchsindividuen so schön Schritt miteinander halten, spricht bestimmt dagegen. Es ist doch unmöglich, sich zu dem Glauben zu bringen, daß sorgfältiges Kauen nicht nur nicht nützt, sondern im Gegenteil schadet. Ich glaube deshalb bis auf weiteres, daß die Erklärung in einem anderen Verhältnis zu suchen ist, das später näher besprochen werden soll.

---

[1] *Dies Archiv.* Bd. XXXV. S. 301.

Prozentverlust bei Gerstengrützekost in verschiedener Behandlung.

		Tage	Trockensubstanz	Eiweiß	Asche	Kohlehydrate	Kalorien	
8	F. M.	10	4·8	23	53	1·8	6·1	Gewöhnl. Kauen
8	H. M.	10	4·2	29	44	1·7	5·2	1/2 Std. Kochen
Durchschnitt			4·5	26	49	1·8	5·7	
9	F. M.	10	5·2	30	59	1·8	6·6	Gewöhnl. Kauen
9	H. M.	10	5·5	34	49	2·5	7·4	Langes Kochen
Durchschnitt			5·3	32	52	2·1	7·0	
10	F. M.	10	6·4	28	76	2·7	7·9	Kauen à la Fletcher
10	H. M.	10	7·2	38	70	3·5	8·9	1/2 Std. Kochen
Durchschnitt			6·8	33	73	3·1	8·4	

Nahrungsinhalt, Gewicht, Befinden.

Folgende Tabellen geben eine Übersicht über den Nettoinhalt der Nahrungsstoffe in den verschiedenen Perioden.

Frederik Madsen. Nahrungsinhalt. Netto.

Per. Nr.	1916		Tage	Trockensubstanz g	Eiweiß g	Fett g	Asche g	Kohlehydrate g	Kalorien	Gewicht kg
										70·5
1	25.VIII.	bis 3.IX.	10	1017	76·4	2·6	19·1	919	4229	71·6
2	4.IX.	„ 13.IX.	10	1038	78·7	2·1	18·8	939	4317	72·3
3	14.IX.	„ 23.IX.	10	1033	84·1	1·0	19·8	929	4275	74·0
4	24.IX.	„ 3.X.	10	1044	87·1	1·2	23·5	934	4292	76·0
5	4.X.	„ 13.X.	10	1149	90·5	3·8	20·1	1035	4802	73·5
6	14.X.	„ 23.X.	10	1238	112·2	4·7	23·8	1098	5189	75·8
7	24.X.	„ 2.XI.	10	1183	112·4	4·6	22·2	1044	4970	80·0
8	3.XI.	„ 12.XI.	10	808	43·8	0·1	5·0	759	3351	78·2
9	14.XI.	„ 23.XI.	10	1001	48·0	0·0	5·3	948	4140	75·6
10	24.XI.	„ 3.XII.	10	862	43·8	1·5	2·7	817	3564	73·5
11	4.XII.	„ 20.XII.	17	1109	100·5	2·8	17·2	990	4650	76.2
	1917									74·5
12	10.I.	bis 19.I.	10	1104	104·3	5·4	17·2	978	4648	79·0
13	20.I.	„ 29.I.	10	1287	113·1	4·0	20·8	1144	5389	77·0
14 bis 17	30.I.	„ 19.IV.	80	1035	101·4		16·1	914	4329	72·2
18	20.IV.	„ 9.V.	20	1041	107·7	4·6	16·2	913	4391	68·5
19	10.V.	„ 29.V.	(20)							
20	30.V.	„ 18.VI.	20	953	94·6	4·9	15·7	838	4010	69·1
21	19.VI.	„ 8.VII.	20	912	78·2	1·2	17·8	818	3780	70·0
Durchschnitt pro Tag				1038	91·6	2·1	16·5	927	4334	

Holger Madsen.

Per. Nr.	1916	Tage	Trocken-substanz g	Ei-weiß g	Fett g	Asche g	Kohle-hydrate g	Kalo-rien	Ge-wicht kg
									71·0
1	25.VIII. bis 3.IX.	10	710	55·4	1·4	15·9	638	2931	72·0
2	4.IX. „ 13.IX.	10	790	55·3	2·1	17·6	718	3264	71·2
3	14.IX. „ 23.IX.	10	896	88·9	1·1	26·7	780	3693	69·0
4	24.IX. „ 3.X.	10	914	80·5	0·8	23·7	810	3762	71·0
5	4.X. „ 13.X.	10	844	61·1	3·5	12·1	768	3521	70·0
6	14.X. „ 23.X.	10	898	71·0	3·2	16·9	807	3758	71·5
7	24.X. „ 2.XI.	10	737	60·4	2·2	11·7	663	3098	70·0
8	3.XI. „ 12.XI.	10	774	29·3	0·0	4·9	740	3177	68·0
9	14.XI. „ 23.XI.	10	615	22·6	0·6	3·7	590	2508	67·4
10	24.XI. „ 3.XII.	10	810	30·5	2·7	3·0	779	3315	67·0
11	4.XII. „ 20.XII.	17	867	65·7	0·7	15·5	843	3788	70·1
	1917								70·5
12	10.I. bis 19.I.	10	1170	100·0	3·2	26·3	1040	4862	70·3
13	20.I. „ 29.I.	10	934	96·9	4·4	18·3	813	3934	70·0
14	30.I. „ 18.II.	20	725	70·4	2·1	10·5	642	3069	70·0
15	19.II. „ 10.III.	20	762	76·3	2·7	10·8	673	3214	70·0
16	11.III. „ 30.III.	20	847	89·8	3·9	13·0	740	3573	71·0
17	31.III. „ 19.IV.	20	842	85·2	5·2	15·1	737	3548	70·0
18	20.IV. „ 9.V.	20	773	78·6	2·8	14·5	677	3247	70·2
19	10.V. „ 29.V.	20	838	79·3	3·3	16·3	739	3506	70·5
20	30.V. „ 18.VI.	20	478	38·3	0·1	8·4	432	1977	65·0
21	19.VI. „ 6.VII.	18	596	42·9	0·0	14·2	518	2366	64·5
Durchschnitt pro Tag			784	67·0	2·3	13·9	705	3297	

Für Frederik Madsens Perioden 14 bis 17, wo die Exkremente nicht untersucht wurden, haben wir keine genauen Nettozahlen, aber da die Kost ungefähr der Durchschnittskost entspricht in den Perioden 11 bis 13 und 13 bis 21, haben wir den Durchschnittsverlust in diesen Perioden als Grundlage zur Berechnung der Nettokost. Der Fehler kann kaum ein großer werden.

Bei Frederik Madsen finden wir in den ersten 70 Tagen eine sehr große Gewichtszunahme — $9^1/_2$ kg — gepaart mit einem blühenden, rotbäckigen Aussehen. Das Versuchsindividuum strotzte sozusagen von Gesundheit. Er hat nie früher bei den Experimenten der 6 Jahre in so kurzer Zeit eine nur annähernd so große Gewichtszunahme gezeigt und dies bei fettfreier Kost. Dies zeigt, daß Fettstoff bei einer Mastkur nicht notwendig ist. Dies könnte man übrigens aus den Erfahrungen der Bauern mit Bezug auf das Mästen der Haustiere geschlossen haben; man mästet Schweine mit Korn und Kartoffeln, nicht mit Fett. Aber die verabreichte Nahrungsmenge ist freilich hoch: 4200 bis 5000 Kalorien, ja in einer einzigen Periode sogar 5200. Weshalb ißt das Versuchs-

individuum so große Mengen? Ja, da er nicht mehr ißt, als er Lust hat, deutet es auf guten Appetit. Die Kost schmeckt ihm vortrefflich. Wir waren darauf vorbereitet, daß die fettfreie Kost als einförmig und langweilig empfunden werden würde, und daß es infolgedessen die Eßlust beeinträchtigen würde. Doch diese Vermutung zeigte sich als nicht stichhaltig. Die Erfahrung der Versuchsindividuen ging dahin, daß diese Kost, dank der Frucht- und Gemüsesuppen, sehr leicht durchzuführen war. Sie erklärten, niemals einer Versuchskost ausgesetzt gewesen zu sein, die ihnen besser geschmeckt hätte, und je länger sie damit fortfuhren, desto zufriedener waren sie mit dieser Kost.

Aber in den Perioden 8 bis 10 auf Gerstenwassergrütze ohne Fettstoff und ohne Gemüse änderte sich das Bild. Frederik Madsen fand die Kost etwas langweilig und verlor zum Teil den Appetit, wovon die Folge eine starke Abnahme der Kalorien und eine reißende Abnahme des Gewichtes war: 6·5 kg in 30 Tagen, oder durchschnittlich 217 g per Tag. Daß es sich nicht gut um Zufälligkeiten drehen kann, geht daraus hervor, daß, sobald Frederik Madsen wieder auf die alte Brot-, Kartoffel-, Gemüse- und Fruchtsuppenkost kam, das Gewicht im Laufe von 17 Tagen um 2·7 kg zunahm.

Vom 21. Dez. bis 10. Jan. hielt Frederik Madsen Weihnachtsferien auf dem Lande. Er wollte trotz großer Schwierigkeiten nicht von der fettfreien Kost abweichen. Das Resultat der Schwierigkeiten war etwas Abnahme im Gewicht: von 76·2 auf 74·5 kg. Sobald er nach den Ferien zu der alten fettfreien Kost zurückkommt, tritt von neuem eine bedeutende Gewichtszunahme ein mit einigen Schwankungen auf und nieder.

In den Perioden 14 bis 17 — die Soldatenzeit —, wo das Versuchsindividuum trotz aller Schwierigkeiten seine fettfreie Lebensweise durchführte, verlor er 5 kg an Gewicht, was nicht zu verwundern ist. Vormittags mußte er sich immer mit einem Frühstück begnügen, bestehend aus trockenem Brot, erst nachmittags spät konnte er ins Laboratorium zu seiner Kohlsuppe kommen.

In den folgenden 80 Tagen — Perioden 18 bis 21[1] — nahm das

[1] In Periode 19 keine Kontrolle mit Exkrementen und Harn, weil Frederik Madsen Ferien hat wegen Hochzeit. Ich erlaubte ihm, in dieser Zeit zu essen, was er wollte. Aber es war nicht möglich, das Versuchsindividuum dazu zu bringen, die Versuche zu „verderben" durch Fetteinmischung. Die Hochzeitsmahlzeit bestand aus Kartoffeln und grünen Erbsen — ohne Butter — sowie aus Aprikosensuppe. Später am Abend Obst.

Gewicht ein paar Kilogramm ab. Diese Gewichtsabnahme ist normal für den Gärtner Madsen in der geschäftigen Frühjahrszeit, wo er um 3 bis 4 Uhr morgens aufsteht und bis 10 Uhr abends arbeitet. Da er sich so viel außerhalb des Laboratoriums aufhält, wird sein Hunger nicht immer gestillt, wenn er sich meldet, was einen geringeren Nahrungsverbrauch als im Winter ergibt trotz der anstrengenderen Arbeit. Am 8. Juli 1917 hat das Versuchsindividuum jedoch bis auf 0·5 kg dasselbe Gewicht wie am 25. August 1916. Das Befinden war ganz vortrefflich.

Holger Madsen hält, trotz nicht geringer Abwechslung in der Nahrungsmenge, sein Gewicht merkwürdig gleich während des ganzen Jahres. Nur im November und Juli ist eine große Abnahme. Im ersten Falle ist es die Gerstenwassergrütze, welche dieselbe Wirkung auf dieses Versuchsindividuum hat wie auf das vorige. Die Abnahme im Juli erklärt sich durch die geringe Nahrungsmenge. Jedoch was verursacht den geringen Appetit? Es ist kaum der Fettmangel, doch vielleicht die Sommerwärme oder eher ein psychisches Moment. Das Versuchsindividuum hatte gerade in dieser Zeit einen großen Kummer. Trotz dieser Abnahme des Gewichtes war das körperliche Befinden sonst ausgezeichnet. Das Versuchsindividuum unternahm gleich darauf in den Sommerferien lange Fußtouren immer bei fettfreier Kost.

Fortgesetzte Versuche 1. September bis 15. Dezember 1917.

Die kontrollierten Versuche des ersten Jahres hörten am 7. Juli auf. Assistent Frederik Madsens regelmäßige Sommerferien erstrecken sich vom 15. Juli bis 15. August, jedoch muß die Kontrolle mit den Exkrementen einige Tage vorher aufhören wegen der Aufsammlung und des Trocknens der letzten Exkremente. Keiner würde dem Versuchsindividuum verdenken, wenn es in den Ferien essen würde, wozu es am meisten Lust hätte. Aber da er einsah, daß die Bedeutung der Versuche leiden würde, wollte er ebensowenig in den Sommerferien wie in den Weihnachts- und Hochzeitsferien seine fettfreie Kost unterbrechen.

Am 16. August fing er wieder im Laboratorium an auf dieselbe Weise wie früher; aber da das andere Versuchsindividuum — das, wie angeführt, auch in den Ferien von fettfreier Kost gelebt hatte — sich erst am 1. September einfand, fingen wir erst an diesem Tage an, die Bestandteile der Kost zu wiegen. Die Kontrolle mit Urin und Exkrementen fing erst am 17. September an. Die dreimal 20 Tage-

Perioden vom 7. Oktober bis 5. Dezember wurden besonders sorgfältig und genau kontrolliert, indem wir uns hier nicht, wie in den beiden ersten halben Jahren, damit begnügten, mit dem Durchschnitt einer kleineren Anzahl Analysen zu rechnen, sondern nahmen Proben von jedem Broteinkauf, welche Proben getrocknet wurden und für jede Periode gemischt, von denen die Analysenproben gemacht wurden. Auf gleiche Weise machten wir es mit den anderen Nahrungsmitteln. Aus Rücksicht auf Arbeit und Kosten (wegen der Kriegsverhältnisse mußten wir mit Gas usw. sparen) konnte ein so genaues Verfahren nicht während der ganzen Versuchszeit durchgeführt werden, doch bekommt glücklicherweise diese verringerte Genauigkeit keine Bedeutung für das praktische Hauptresultat.

In untenstehender Tabelle sind die gefundenen Analysenresultate angeführt. Für Fett im Brot mußten wir uns mit früher gefundenen Durchschnittszahlen begnügen, da wir die Ausschüttungsmethode nicht anwenden konnten, weil Petroleumäther nicht mehr aufzutreiben war. Für die Perioden 23 und 27 ist mit Durchschnittszahlen für die drei besprochenen Perioden gerechnet.

Nr.		Trocken-substanz	N	Ei-weiß	Fett	Asche	Rest	Kalorien
	Schwarzbrot							
553	7.X. bis 26.X.	62·00	1·30	8·13	1·35	2·26	50·26	267·48
564	27.X. „ 15.XI.	61·97	1·36	8·50	1·35	2·17	49·95	268·30
569	16.XI. „ 5.XII.	62·47	1·35	8·44	1·35	2·04	50·64	270·82
	Durchschnitt	62·15	1·34	8·36	1·35	2·16	50·28	268·87
	Weizenbrot							
554	7.X. bis 26.X.	65·39	1·33	8·31	1·01	1·50	54·57	283·23
563	27.X. „ 15.XI.	61·52	1·25	7·81	1·01	1·61	51·09	265·93
568	16.XI. „ 5.XII.	64·73	1·29	8·06	1·01	1·47	54·19	280·22
	Durchschnitt	63·88	1·29	8·06	1·01	1·53	53·28	276·46
	Weißbrot							
551	7.X. bis 26.X.	69·65	1·34	8·38	0·97	1·55	58·75	300·60
562	27.X. „ 15.XI.	68·20	1·33	8·31	0·97	1·43	57·49	294·97
567	16.XI. „ 5.XII.	64·32	1·22	7·63	0·97	1·35	54·37	278·15
	Durchschnitt	67·39	1·30	8·11	0·97	1·44	56·87	291·24
	Kartoffeln							
560	7.X. bis 26.X.	23·92	0·27	1·69		1·03	21·20	97·61
561	27.X. „ 15.XI.	22·62	0·20	1·25		0·96	20·41	91·83
566	16.XI. „ 5.XII.	23·62	0·22	1·38		1·01	21·23	95·97
	Durchschnitt	23·39	0·23	1·44		1·00	20·95	95·14
	Weißkohl							
546	7.X. bis 26.X.	6·13	0·219	1·37		0·63	4·13	24·95
559	27.X. „ 15.XI.	6·53	0·250	1·56		0·68	4·29	26·70
565	16.XI. „ 5.XII.	7·15	0·271	1·69		0·65	4·81	29·59
	Durchschnitt	6·60	0·247	1·54		0·65	4·41	27·08
	Äpfel							
570	7.X. bis 5.XII.	13·89	0·06	0·38		0·36	13·15	56·74

Mit Hilfe dieser Zahlen und der S. 130 angeführten Zahlen für Exkrementanalysen sind folgende Durchschnittsresultate per Tag für die einzelnen Perioden ausgerechnet worden.

Frederik Madsen.

22. 1. bis 9. September 1917 = 16 Tage.

Kost: 187 Weizenbrot, 456 Weißbrot, 500 Schwarzbrot, 575 Kartoffeln, 588 Weißkohl, 62 Wachsbohnen, 69 Zucker, 513 Tomaten, 663 Birnen, 62 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien.
Kost	3675	1135	19·31	120·7	13·1	35·9	966	4808
Exkr.[1]		(124		29·5	12·0	14·4	70	630)
Verdaut		(1011		91·2	1·1	21·5	896	4178)

23. 17. September bis 6. Oktober = 20 Tage.

Kost: 577 Weizenbrot, 349 Weißbrot, 270 Schwarzbrot, 360 Kartoffeln, 295 Weißkohl, 10 gelbe Rüben, 93 Zucker, 450 Tomaten, 685 Birnen, 155 Äpfel.

Kost	3244	1132	18·44	115·3	12·9	31·4	973	4800
Exkr.	575	123	4·50	28·1	11·8	12·6	70	627
Verdaut		1009	13·94	87·2	1·1	18·8	903	4173
Urin	2942		12·42					
N-Bilanz			+1·52					
Verlust in Proz.		10·9		24·4		40·1	7·2	13·1

24. 7. bis 26. Oktober = 20 Tage.

Kost: 578 Weizenbrot, 341 Weißbrot, 452 Schwarzbrot, 533 Kartoffeln, 425 Weißkohl, 32 Zucker, 528 Äpfel.

Kost	2889	1155	20·83	130·2	15·3	34·5	975	4925
Exkr.		112	4·54	28·4	10·3	13·1	61	568
Verdaut		1043	16·29	101·8	5·0	21·4	914	4357
Urin	2600		15·89					
N-Bilanz			+0·40					
Verlust in Proz.		9·7		21·8		38·0	6·3	11·5

25. 27. Oktober bis 15. November = 20 Tage.

Kost: 489 Weizenbrot, 400 Weißbrot, 500 Schwarzbrot, 749 Kartoffeln, 302 Weißkohl, 60 Zucker, 450 Äpfel.

Kost	2950	1194	20·76	129·8	15·6	35·7	1013	5081
Exkr.	550	104	4·35	27·2	9·9	11·9	55	530
Verdaut		1090	16·41	102·6	5·7	23·8	958	4551
Urin	3044		15·74					
N-Bilanz			+0·67					
Verlust in Proz.		8·7		21·0		33·3	5·4	10·4

[1] Die Parenthese gibt an, daß die Exkremente in dieser Periode nicht untersucht sind, doch ist mit demselben Verlustprozent wie in Periode 23 gerechnet. Die Kost in den beiden Perioden ist ja ungefähr die gleiche.

(Fortsetzung.)

26. 16. November bis 5. Dezember = 20 Tage.

Kost: 515 Weizenbrot, 274 Weißbrot, 491 Schwarzbrot, 460 Kartoffeln, 45 Kartoffelmehl, 755 Weißkohl, 75 Zucker, 575 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	3190	1099	19·73	123·3	14·5	31·7	930	4686
Exkr.	610	117	4·59	28·7	11·0	14·1	63	573
Verdaut		982	15·14	94·6	3·5	17·6	867	4113
Urin	3127		13·55					
N-Bilanz			+1·59					
Verlust in Proz.		10·6		23·3		44·5	6·8	12·2

27. 6. bis 15. Dezember = 10 Tage.

Kost: 558 Weizenbrot, 295 Weißbrot, 350 Schwarzbrot, 245 Kartoffeln, 30 Kartoffelmehl, 1115 Weißkohl, 56 Zucker, 540 Äpfel.

Kost	3189	1058	19·36	121·0	13·2	32·4	892	4504
Exkr.		112	4·22	26·4	10·7	14·2	61	517
Verdaut		946	15·14	94·6	2·5	18·2	831	3987
Urin	2844		15·02					
N-Bilanz			+0·12					
Verlust in Proz.		10·6		21·8		43·8	6·8	11·5

Holger Madsen.

22. 1. bis 16. September 1917 = 16 Tage.

Kost: 351 Weizenbrot, 114 Weißbrot, 163 Schwarzbrot, 237 Kartoffeln, 732 Weißkohl, 284 Wachsbohnen, 56 Zucker, 323 Tomaten, 334 Birnen, 219 Magermilch.

Kost	2813	679	13·08	81·7	9·2	24·0	564	2884
Exkr.		(84		24·7	8·9	8·9	46	427)
Verdaut		(595		57·0	0·3	15·1	518	2457)

23. 17. September bis 6. Oktober = 20 Tage.

Kost: 344 Weizenbrot, 199 Weißbrot, 200 Schwarzbrot, 400 Kartoffeln, 909 Weißkohl, 111 gelbe Rüben, 37 Zucker, 255 Tomaten, 847 Birnen, 45 Äpfel.

Kost	3347	845	14·00	87·5	8·5	28·3	721	3563
Exkr.	605	104	4·22	26·4	8·2	10·5	59	526
Verdaut		741	9·78	61·1	0·3	17·8	662	3037
Urin	2233		8·37					
N-Bilanz			+1·41					
Verlust in Proz.		12·3		30·2		37·1	8·2	14·8

24. 7. bis 26. Oktober = 20 Tage.

Kost: 525 Weizenbrot, 86 Weißbrot, 98 Schwarzbrot, 614 Kartoffeln, 10 Kartoffelmehl, 712 Weißkohl, 115 Zucker, 639 Äpfel.

Kost	2799	865	13·02	81·4	7·5	25·2	751	3633
Exkr.	400	76	3·67	22·9	8·5	8·0	37	391
Verdaut		789	9·35	58·5	1·0	17·2	714	3242
Urin	1956		8·44					
N-Bilanz			+0·91					
Verlust in Proz.		8·8		28·1		32·0	4·9	10·8

(Fortsetzung.)

25. 29. Oktober bis 15. November = 20 Tage.

Kost: 335 Weizenbrot, 160 Weißbrot, 99 Schwarzbrot, 1089 Kartoffeln, 237 Weißkohl, 90 Zucker, 641 Äpfel.

	Menge	Trocken-substanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohle-hydrate	Kalorien
Kost	2651	816	10·82	67·6	6·3	24·7	717	3408
Exkr.	348	66	3·39	21·2	6·4	6·6	32	343
Verdaut		750	7·43	46·4	−0·1	18·1	685	3065
Urin	1964		7·96					
N-Bilanz			−0·53					
Verlust in Proz.		8·1		31·4		26·7	4·5	10·1

26. 16. November bis 5. Dezember = 20 Tage.

Kost: 375 Weizenbrot, 125 Weißbrot, 97 Schwarzbrot, 976 Kartoffeln, 361 Weißkohl, 65 Zucker, 654 Äpfel.

Kost	2653	799	11·30	70·6	6·3	24·2	698	3349
Exkr.	345	66	3·08	19·3	7·1	7·3	33	340
Verdaut		733	8·22	51·3	−0·8	16·9	665	3009
Urin	1950		8·32					
N-Bilanz			−0·10					
Verlust in Proz.		8·3		27·3		30·2	4·7	10·2

27. 6. bis 16. Dezember = 10 Tage.

Kost: 466 Weizenbrot, 61 Weißbrot, 145 Schwarzbrot, 428 Kartoffeln, 400 Weißkohl, 70 Zucker, 763 Äpfel.

Kost	2333	731	11·18	69·9	7·3	21·2	632	3079
Exkr.	440	78	3·14	19·6	8·6	8·6	41	395
Verdaut		653	8·04	50·3	−1·3	12·6	591	2684
Urin	1681		8·01					
N-Bilanz			+0·03					
Verlust in Proz.		10·7		28·0		40·5	6·5	12·8

Nahrungsverbrauch. Gewicht und Befinden.

Die nachstehenden Tabellen geben Übersicht über den Nettoinhalt von Nahrungsstoffen.

Frederik Madsen. Nahrungsinhalt. Netto.

Per. Nr.	1917	Tage	Trocken-substanz g	Ei-weiß g	Fett g	Asche g	Kohle-hydrate g	Kalo-rien	Ge-wicht kg
									73·2
22	1.IX. „ 16.IX.	16	(1001	91·2	1·1	21·5	896	4178)	71·9
23	17.IX. bis 6.X.	20	1009	87·2	1·1	18·8	903	4173	72·0
24	7.X. „ 26.X.	20	1043	101·8	5·0	21·4	914	4357	72·6
25	27.X. „ 15.XI.	20	1090	102·6	5·7	23·8	958	4551	76·0
26	16.XI. „ 5.XII.	20	982	94·6	3·5	17·6	867	4113	75·1
27	6.XII. „ 15.XII.	10	946	94·6	2·5	18·2	831	3987	75·1
Durchschnitt pro Tag			1002	95·6	3·3	20·4	901	4251	

(Fortsetzung.)

Holger Madsen.

Per. Nr.	1917		Tage	Trocken-substanz g	Ei-weiß g	Fett g	Asche g	Kohle-hydrate g	Kalo-rien	Ge-wicht kg
										65·2
22	1.IX.	bis 16.IX.	16	595	57·0	0·3	15·1	518	2457	65·0
23	17.IX.	„ 6.X.	20	741	61·1	0·3	17·8	662	3037	65·0
24	7.X.	„ 26.X.	20	789	58·5–	1·0	17·2	714	3242	66·5
25	27.X.	„ 15.XI.	20	750	46·4–	0·1	18·1	685	3065	67·0
26	16.XI.	„ 5.XII.	20	733	51·3–	0·8	16·9	665	3009	65·5
27	6.XII.	„ 15.XII.	10	653	50·3–	1·3	12·6	591	2684	66·0
Durchschnitt pro Tag				720	54·3–	0·4	16·7	648	2955	

Vergleichen wir den Nahrungsverbrauch mit demselben Verbrauch in den entsprechenden Monaten des vorhergehenden Jahres, wo die Kost wesentlich die gleiche war, so haben wir:

Frederik Madsen	25.VIII. bis 2.XI.	1916	70 Tage	4582 Kalorien	+9·5 kg
„ „	1.IX. „ 15.XI.	1917	76 „	4315 „	+2·2 „
Holger Madsen	25.VIII. „ 2.XI.	1916	70 „	3432 „	–1·0 „
„ „	1.IX. „ 15.XI.	1917	76 „	2950 „	+1·8 „

Frederik Madsen braucht also 1917 265 Kalorien weniger, aber dies gibt auch den Ausschlag in geringerer Gewichtszunahme. Holger Madsen hat seinen Verbrauch auf 482 Kalorien herabgesetzt, nimmt aber dennoch an Gewicht zu. Sehen wir auf das Gewicht in dem ganzen Zeitraum vom 25. August 1916 bis 15. Dezember 1917, so hat Frederik Madsen 4·6 kg zugenommen, aber Holger Madsen 5 kg verloren. Das Durchschnittsgewicht der beiden hat sich also unverändert gehalten.

Das Befinden war immer das beste, und es war auch keine Spur von Fetthunger vorhanden. Als Beweis hierfür kann dienen, daß sie sich selbst, ohne die geringste Veranlassung von meiner Seite, erboten, die fettfreie Kost auch über Weihnachten 1917 und nach Weihnachten fortzusetzen. Die Versuche dauerten bis Mitte Juli 1918 — im ganzen 23 Monate —, etwas modifiziert mit Rücksicht auf besondere Zwecke. Es war nie Fettbedürfnis vorhanden.

Als Kontrolle in bezug auf die Richtigkeit meiner Angaben ließ ich im Dezember 1917 meine Versuchsindividuen von Professor Sofus Bang, früher Oberarzt des Silkeborger Tuberkulosesanatoriums, jetzt Oberarzt des Kopenhagener Kommunehospitals, untersuchen. Professor Bang hat mir folgende Erklärung zugestellt:

„Dr. Hindhedes Versuchsindividuen, Assistent Frederik Madsen und Student Holger Madsen, habe ich im Dezember 1917 untersucht und bei beiden habe ich folgendes Verhältnis gefunden:

Sie sind beide von gesundem, rotbackigem Aussehen, mit kräftiger Muskulatur, mager, doch nicht emaziert, aber mit einer deutlichen subkutanen Fettschicht. Die Schleimhäute sind nicht von anämischem Aussehen. Die Bewegungen lebhaft und kräftig. Stethoskopie der Lunge und des Herzens zeigen nichts Abnormes. Das Hämoglobin bei beiden bei wiederholten Untersuchungen gut 100 Proz. (korrigiert Sahli).“

Kopenhagen, den 1. Februar 1918.

Sign.: S. Bang.

Es kann von Interesse für eine Vergleichung sein, entsprechende Erklärungen anzuführen, die von demselben Manne nach Untersuchung der beiden Individuen im Juni 1914 festgestellt worden sind.

„Am 25. und 26. Juni dieses Jahres untersuchte ich auf Aufforderung von Dr. Hindhede seine beiden Versuchsindividuen mit folgendem Resultat:

1. Frederik Madsen ist ein wohlproportionierter Mann mit kräftiger Muskulatur. Seine Gesichtsfarbe ist natürlich wie die eines gesunden Menschen. Bei Stethoskopie des Herzens fand sich nichts Abnormes. Sein maximaler Blutdruck ist 140. Sein Hämoglobin 90 (Sahli). Bei Stethoskopie der Lungen fand sich kurzer Ton über der rechten Clavicula, aber ohne entsprechende Atmungsveränderungen oder andere krankhafte Zeichen. Der Unterleib war bei palpatorischer Untersuchung normal.

2. Holger Madsen hat einen leicht zyanotischen Schimmer im Gesicht; die Schleimhäute sind etwas livid. Starke Cyanose in den Händen in hängender Stellung, etwas Cyanose der Crura und Füße. Hämoglobin 80 (Sahli). Die Stethoskopie weist kurzen Ton über beiden Claviculae auf, mit geschwächter Atmung über der rechten Clavicula. Stethoscopia cordis normal. Blutdruck maximal 125. Abdomen ziemlich groß. Bei Palpation scheint es natürlich. Er gibt an, als Kind Lungenentzündung gehabt zu haben, später an verschiedenen Stellen Caries sowie eine langwierige Augenkrankheit. Sein ganzer Habitus in Verbindung mit dem genannten Befund bezeichnet ihn als ein tuberkulöses Individuum, dessen Krankheit zurzeit im Ruhestand ist.“

Kopenhagen, den 28. Oktober 1914.

Sign.: S. Bang.

Es ist richtig, daß Holger Madsen in Habitus und Bau vor einigen Jahren beinahe einen schwächlichen Eindruck machte, der übrigens im Gegensatz stand zu seiner Arbeitsfähigkeit und Ausdauer. Es ist auch richtig, daß er sich in den letzten paar Jahren herausgemacht hat. Professor Bang sagte nach der Untersuchung 1914, daß es ihn besonders interessieren würde, zu sehen, ob der „tuberkulöse" Holger Madsen alle diese weitgehenden Versuche aushalten könne. Er hat nicht nur durchgehalten, sondern hat sich herausgemacht, und die Tuberkulosesymptome sind verschwunden und dies u. a. bei fettfreier Kost. Das ist beinahe mehr, als man verlangen kann. Man hat ja gerade gefürchtet, daß Fettmangel Tuberkulose hervorrufen würde. Selbstverständlich soll man nicht wegen dieses einen Falles die fettfreie Kost gegen diese Krankheit empfehlen, aber es kann doch darauf hindeuten, daß Herabsetzung der Fettrationen keine Gefahr in der genannten Richtung zu bedeuten brauche.

Versuche mit Herrn stud. med. A. Brummerstedt.

Im September 1917 wandte der oben genannte junge Mann sich an mich und ersuchte um die Erlaubnis, an den Versuchen teilnehmen zu dürfen. Herr B. war 20 Jahre alt, gesund und frisch, von ungewöhnlich kräftigem Körperbau, Gewicht 85 kg.

Um zu probieren, ob Brummerstedt normal verdaue, oder richtiger, ob er verdaue wie unsere anderen Versuchsindividuen, fingen wir mit einigen Perioden mit grobem Roggenbrot und Grahambrot (ungesiebtes Weizenbrot) an.

In untenstehender Tabelle werden die Durchschnittsresultate per Tag angeführt.

Brummerstedt.

1. 26. September bis 15. Oktober = 20 Tage.

Kost: 842 Schwarzbrot, 121 Butter, 42 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	1005	670	11·41	71·3	112·9	19·9	466	3383
Exkr.	430	101	3·92	24·5	10·1	10·1	56	515
Verdaut		569	7·49	46·8	102·8	9·8	410	2868
Urin	883		8·55					
N-Bilanz			—1·06					
Verlust in Proz.		15·1		34·4	8·9	50·8	12·0	15·2

(Fortsetzung.)

2. 19. Oktober bis 7. November = 20 Tage.
Kost: 987 Weizenbrot, 136 Butter, 78 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	1201	825	12·87	80·4	124·4	17·2	603	4106
Exkr.	325	73	2·45	15·3	8·4	7·9	41	365
Verdaut		752	10·42	65·1	116·0	9·3	562	3741
Urin	1122		10·06					
N-Bilanz			+0·36					
Verlust in Proz.		8·8		19·0	6·8	45·9	6·8	8·9

3. 8. bis 17. November = 10 Tage.
Kost: 920 Weizenbrot, 139 Butter, 120 Zucker.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	1179	827	12·01	75·1	126·3	16·4	609	4111
Exkr.	340	74	3·36	21·0	9·5	7·6	36	377
Verdaut		753	8·65	54·1	116·8	8·8	573	3734
Urin	1365		9·94					
N-Bilanz			−1·29					
Verlust in Proz.		8·9		28·0	7·5	46·3	5·9	9·2

Vergleichen wir die Verlustprozente mit den entsprechenden Prozenten bei Frederik Madsen für dieselben Brotsorten[1], so haben wir:

Verlust in Prozenten.

	Trockensubstanz	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Schwarzbrot						
Frederik Madsen 1	12·6	34·7	8·0	52·9	9·1	12·5
,, ,, 2	13·6	34·7	10·6	46·7	10·1	14·2
Brummerstedt	15·1	34·4	8·9	50·8	12·0	15·2
Unges. Weizenbrot						
Frederik Madsen 1	8·4	15·4	6·4	36·6	6·4	8·5
,, ,, 2	8·4	15·4	5·6	38·0	6·8	8·3
Brummerstedt 1	8·8	19·0	6·8	45·9	6·8	8·9
,, 2	8·9	28·0	7·5	46·3	5·9	9·2

Man sieht die schönste Übereinstimmung zwischen den beiden Versuchsindividuen, besonders dann, wenn wir uns zu Trockenstoff und Kalorien halten, die — wie wir so oft betont haben — das beste Bild des Verdauungsverlustes geben. Daß der Verlust bei Roggenbrot ein paar Prozent größer ist bei Brummerstedt als bei Madsen, stimmt so vortrefflich damit, daß in unserem jetzigen Roggenbrot 12 Proz. Weizenkleie und 24 Proz. Gerste gemischt ist. Daß der Unterschied nicht größer ist, ist ein neuer Beweis für die gute Verdaulichkeit der Kleie. Auch das grobe Weizenbrot ist jetzt etwas gröber als 1911.

[1] *Dies Archiv.* Bd. XXVIII. S. 166 bis 169.

Herr Brummerstedt ist kein Vegetarier. Er war besonders daran interessiert, an eventuellen Fleischversuchen teilzunehmen! Der Versuch ist ein neuer Beweis für die übrigens längst bekannte Tatsache, daß lange Gewöhnung nicht die Fähigkeit vergrößert, grobe vegetabilische Nahrungsmittel zu verdauen. Es soll bemerkt werden, daß B. auf Ersuchen Erlaubnis erhielt, einige Tassen schwarzen Kaffee (ohne Milch) am Tage zu trinken. Diese Einräumung, meinten wir, könne keine Störung von Bedeutung bewirken. Die anderen Versuchsindividuen haben nie solche Ausschweifungen begangen!

Nach diesen einleitenden Versuchen ging B. dazu über, an den Versuchen mit fettfreier Kost teilzunehmen. Die Resultate für die zwei Perioden folgen hier:

4. 19. November bis 9. Dezember = 21 Tage.

Kost: 612 Weizenbrot, 181 Weißbrot, 67 Schwarzbrot, 1011 Kartoffeln, 432 Weißkohl, 125 Zucker, 358 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2786	993	14·76	92·3	8·9	28·3	863	4173
Exkr.	405	68	2·97	18·6	7·1	8·1	34	347
Verdaut		925	11·79	73·7	1·8	20·2	829	3826
Urin	2322		10·19					
N-Bilanz			+1·60					
Verlust in Proz.		6·8		20·2	79·8	28·6	3·9	8·3

5. 10. bis 19. Dezember = 10 Tage.

Kost: 612 Weizenbrot, 240 Weißbrot, 40 Schwarzbrot, 1147 Kartoffeln, 138 Weißkohl, 35 Zucker, 177 Äpfel.

	Menge	Trockensubstanz	N	Eiweiß	Fett	Asche	Kohlehydrate	Kalorien
Kost	2389	914	14·63	91·4	9·0	25·8	787	3865
Exkr.	330	69	2·86	17·9	7·0	8·1	36	348
Verdaut		845	11·77	73·5	2·0	17·7	751	3517
Urin	2186		12·23					
N-Bilanz			−0·46					
Verlust in Proz.		7·5		19·6	77·8	31·4	4·6	9·0

Die Zahlen bieten keine Überraschungen dar. Werden die Verlustzahlen verglichen mit den entsprechenden Zahlen der Hauptversuchsindividuen in Perioden mit ungefähr derselben Kostzusammensetzung, so werden die Resultate praktisch genommen die gleichen. Das einzige Überraschende war, daß, während dies Versuchsindividuum die Brotversuche etwas streng fand, es gar keine Schwierigkeiten fühlte, die fettfreie Kost durchzuführen. Das Versuchsindividuum war willig, die Versuche nach Weihnachten fortzusetzen. Es waren Schwierigkeiten von unserer Seite, in diesen Zeiten mit so vielen Versuchsindividuen die Versuche fortzusetzen, die verursachten, daß Herr B. aufhörte.

Nahrungsverbrauch bei fettreicher und fettarmer Kost.

Es ist nicht zu leugnen, daß mein ältestes Versuchsindividuum Frederik Madsen große Portionen ißt. Er ist, wie er sich selbst ausdrückt, ein „Vielesser“. Aber berücksichtigt man seine rastlose Energie und Arbeitsleistungen, dann darf ich mich nicht erdreisten, zu behaupten, daß er mehr ißt als notwendig. Was die Einwirkung des Fettes auf den Nahrungsverbrauch betrifft, kann man sich zwei Möglichkeiten denken. Es ist möglich, daß ein reichlicher Zuschuß eines so konzentrierten Nahrungsstoffes zur Einnahme größerer Nahrungsmengen als notwendig verleiten kann. Da Madsen während mehrerer unserer Eiweißminimumversuche große Fettmengen verbrauchte — gegen 250 g Margarine per Tag —, was ja eine große Hilfe ist, wenn es gilt, die Eiweißmenge niedrig zu halten, war es nicht ausgeschlossen, daß die Kalorien dadurch unnötig hochgetrieben worden waren. Zugleich war es denkbar, daß allein die niedrige Eiweißmenge eine besonders große Nahrungsmenge verlangen konnte, um den Körper im Gleichgewicht zu erhalten. Dies war die eine Seite der Sache. Von der anderen Seite gesehen, war es auch denkbar, daß Mangel an Fett einen abnorm großen Zuschuß an Kohlenhydraten verlangen konnte. Durch Zusammenstellung einiger Hauptdurchschnittszahlen für Verbrauch von Nahrungsstoffen in unseren großen Versuchsreihen können wir vielleicht einen Eindruck des Zusammenhanges gewinnen.

Durchschnittlicher Nahrungsverbrauch in den Hauptversuchen (netto).

	Frederik Madsen.				Holger Madsen. (Lindemoe.)			
	Kalorien	Fett g	Eiweiß g	Gewicht kg	Kalorien	Fett g	Eiweiß g	Gewicht kg
1912 Kartoffeln . .	4074	160	33	74 + 1				
1913 Brot + Obst .	3760	88	25	78 – 4	3157	82	26	67 – 1
1914 Grobes Weizenbrot	4132	139	87	79 – 6	3049	112	61	64 + 6
1915 Gerstengrütze	4200	83	50	76 0	(3810	120	34	63 + 9)
1916 Schwarzbrot .	4400	147	59	80 – 2	2760	87	32	76 – 5
1916/17 Fettfreie Kost I . .	4334	2	84	70 0	3297	2	67	71 – 6
1917 Fettfreie Kost II . .	4251	3	96	73 + 2	2955	0	54	65 + 1

Ich will die Leser bitten, diese Zahlen selbst zu studieren. Ich selbst habe nicht den Eindruck gewinnen können, daß ein größerer

oder kleinerer Verbrauch von entweder Fett oder Eiweiß eine deutliche Einwirkung auf den Verbrauch der Totalernährungsmenge hat (1915 war Holger Madsen wegen Soldatendienst durch ein anderes Versuchsindividuum ersetzt). Die Gewichtszahlen geben die Gewichtszahlen beim Anfang der großen Versuchsreihen an sowie Aufgang (+) und Niedergang (—) am Schlusse.

Zusammenfassung.

Als Hauptresultat dieser Versuche haben wir also gefunden, daß junge kräftige Leute jedenfalls während 16 Monaten — ja noch länger, die Versuche werden immer noch fortgesetzt — in voller Kraft und Wohlbefinden leben können bei einer Kost, bestehend aus Brot, Kartoffeln, Kohl, Rhabarber und Äpfeln, ohne irgendwelchen Zuschuß von Fettstoffen. Dabei scheint es kaum — nach Versuch während eines Monates — tunlich, von Gerstenwassergrütze + Zucker allein ohne Fettzuschuß zu leben. Bei einer solchen Kost verliert sich der Appetit und das Körpergewicht nimmt stark ab. Vergleicht man diese Versuche mit unseren vorausgegangenen Versuchen mit Gerstenwassergrütze + Zucker und Margarine, womit zwei Versuchsindividuen ausgezeichnet während mehrerer Monate auskamen, ja wo der eine sogar 10 kg an Gewicht zunahm, bekommt man im ersten Augenblick einen starken Eindruck von der Bedeutung des Fettstoffes. Doch dagegen sprechen die angeführten 16 monatigen Versuche mit fettfreier Kost. Wie erklärt sich dieser Widerspruch?

Die nächstliegende Erklärung scheint die zu sein, daß es sich nicht um den Fettstoff an sich dreht, sondern um gewisse, an diese Stoffe geknüpften „Vitaminen". Diese „fettlösliche" Vitaminen (A-Stoffe) scheinen sich nicht im Korn zu finden, dagegen in frischen Gemüsen und Früchten. Diese Erklärung stimmt gut mit den vorstehend besprochenen Tierversuchen überein.[1]

---

[1] Korrekturanmerkung vom 5. Mai 1919.

Als ich am 6. Januar 1918 Prof. Mendel, New Haven, den Bericht über unsere Gerstengrützenversuche sandte, teilte ich Ihnen mit, daß meine zwei Versuchsindividuen $1^1/_2$ Jahre von fettfreier Kost (Brot, Kartoffeln und Gemüse) gelebt hatten, daß sie aber mit Gerstengrütze ohne Fett nicht auskommen konnten. Ich fragte Prof. Mendel, ob er nicht bei seinen Ratten versuchen wollte, ob nicht Gemüse Butter ersetzen könnte.

Ob diese Anregung die Veranlassung gewesen, weiß ich nicht — das ist ja auch ganz gleichgültig. Die Hauptsache ist, daß die gewünschten Versuche

Aber weshalb bekamen Nansen und seine Begleiter Fetthunger auf Grönlands Eis? Ja, es ist ja leicht denkbar, daß Fett eine besonders angemessene Nahrung in den arktischen Klimaten ist. Wir mögen in der Sommerwärme keinen Speck, doch schmeckt er uns gut in der Winterkälte. Aber die Haupterklärung zu dem Bedürfnis kann im Fehlen der frischen Gemüse in den Eisfeldern liegen. Es ist genügend bekannt, daß sich in eingemachten und getrockneten Waren keine wirksamen Vitamine finden.

Wir besprachen S. 100 das auffallende Phänomen, daß die Verdaulichkeit der halbgekochten Gerstengrütze bei starkem Kauen herabgesetzt wurde. Es ist wohl am wahrscheinlichsten, daß die Erklärung dieser unverständlichen Tatsache in der Abnahme des Appetites zu

angestellt worden sind, und das Resultat ist, daß, wenn zu einer Fett-Vitaminfreien Kost, bei der Ratten — zahllosen früheren Versuchen zufolge — nicht ohne Butterzusatz leben und wachsen konnten, Gemüse zugesetzt wird, dann leben und wachsen die Ratten ganz normal.

Prof. Mendel schreibt: *)

„It is too early to make final statements as to the relative amount of the fat-soluble vitamine in spinach leaves, but the experiments here described indicate that these are rich in this food factor, so important for the normal growth of young rats. Even after 190 days of experimental feeding the four rats supplied with the 10 per cent spinach have shown no lack of the fat-soluble factor in their diet, as evidenced by a decline of weight or affected eyes . . .

These facts indicate that spinach leaves **) are in reality richer in this food factor than most of the products used in our ordinary rations. The final outcome of these experiments, together with others now in progress, must show how small a quantity will actually supply all that the young rat needs for normal growth. . . . If one may draw conclusions from the limited data now awailable, it seems that the green vegetables supply an important addition to the diet of man because the staples such as cereals, meats, potatoes, fats, and Sugar probably furnish too small an amount of either of these vitamines to meet fully the requirements of an adequate dietary.“

Selbst, wenn man noch nicht genaue Quantitätsberechnungen anstellen kann (soviel Gramm Spinat = soviel Gramm Butter usw.), so scheint es doch durch unsere Versuche — in Verbindung mit den amerikanischen — festgestellt zu sein, so wunderbar es klingt, daß Gemüse Fett ersetzen kann.

*) *Journal of Biological Chemistry.* Vol. XXXVII. No. 1, January 1919. p. 195—200.

**) Für Weißkohl und andere Gemüsesorten wurden ähnliche Resultate gefunden.

suchen ist und wahrscheinlich in anderen physiologischen Funktionen, welche die Folge der mangelhaften Kostzusammensetzung waren. Es ließe sich denken, daß das Resultat gerade das entgegengesetzte geworden wäre, wenn wir mit starkem Kauen in der ersten Periode angefangen hätten. Doch nimmt man Rücksicht sowohl auf das hier Besprochene, wie auch auf unsere vorhergehenden ausgedehnten Versuche mit Gerstengrütze, bei denen nur ½stündiges Kochen angewandt und nicht stärker gekaut wurde, als Grütze im allgemeinen gekaut oder vielmehr nicht gekaut wird, so kann man sagen, daß das starke Kauen hier scheinbar keinen wesentlichen Einfluß auf die Verdaulichkeit. Aber das schließt nicht aus, daß ein solches Kauen einen bedeutenden Einfluß auf die Verdaulichkeit von anderen Nahrungsmitteln haben könne. Ältere Versuche zeigen, daß z. B. halbgekaute Kartoffeln schlecht verdaut werden, außerdem auch Anlaß zu Darmgärungen geben.

Andere Versuche und Erfahrungen betreffs des Fettminimums.

Wie angeführt, ist mir nicht bekannt, daß bei Erwachsenen früher systematische Versuche über Fettminimum gemacht worden sind. Dagegen ist in den letzten Jahren Anlauf zu Versuchen bei Kindern gewesen.

Der bekannte Kinderarzt Professor Pirquet in Wien führt folgende Versuche an:[1]

Adele, 18 Monate alt.

9. III. bis 28. III. 1916. Süße Milch mit Rohrzucker. Inhalt: 10 Proz. Eiweiß, 65 Proz. Zucker, 25 Proz. Fett.

25. III. bis 30. III. Sahne, verdünnt mit Wasser. Inhalt: 10 Proz. Eiweiß, 15 Proz. Milchzucker, 75 Proz. Fett.

21. III. bis 15. IV. Zentrifugenmilch mit Rohrzucker. Inhalt: 20 Proz. Eiweiß, 80 Proz. Zucker, kein Fett.

18. IV. bis 30. IV. Süße Milch mit Rohrzucker. Inhalt: 10 Proz. Eiweiß, 65 Proz. Zucker, 25 Proz. Fett.

Der Übergang von 25 Proz. zu 75 Prozent und von 0 zu 25 Proz. Fett wurde ohne irgendwelche Schwierigkeiten ertragen.

---

[1] *System der Ernährung.* 1. Teil. S. 24 bis 25. Berlin 1917.

Auf Grundlage dieser und anderer Versuche schließt Pirquet: „Es scheint also für den Menschen kein Fettminimum zu geben. Dies ist besonders wichtig in der jetzigen Kriegszeit, wo sich wegen des Fettmangels allerlei Bekümmerungen betreffs der Wirkung der fettfreien Kost melden. Der Mensch geht nicht zugrunde, selbst wenn das Brot ohne Butter gegessen werden muß oder das Gemüse ohne Fett zubereitet wird."

Nun, Pirquets wenigen und kurzen Versuche können wohl kaum dazu berechtigen, so weitreichende Schlüsse aus ihnen zu ziehen.

Prof. Monrads Versuche:

Prof. Bloch, Reichshospital, Kopenhagen, hatte in einem Vortrag[1] gemeint, beweisen zu können, daß kleine Kinder, die mit Zentrifugenmilch ernährt würden, zugrunde gingen, und daß dabei namentlich ein charakteristisches Augenleiden entstehe (Xerose), das zu vollkommener Erblindung führen könne. Bloch meinte, daß die Ursache Fettmangel sei. Dagegen opponierte Prof. Monrad sehr stark.[2] Er behauptet, daß Kinder sehr oft Verdauungsstörungen bekommen (Fettdyspepsie) aus zu reichlicher Fetternährung. Bei der Behandlung dieses Leidens verwandte Monrad rohe, abgerahmte Milch und sah hierbei niemals Augenleiden. Erst im Frühjahr 1917 entstand plötzlich bei einer Reihe von Kindern Xerose. Dies war unerklärlich, bis man entdeckte, daß der Milchlieferant ohne Wissen des Hospitals Pasteurisierung der Milch eingeführt hatte. Indem man mit dieser Kost fortfuhr, gab aber eine Kleinigkeit süße Milch als Zusatz (10 ccm zu jeder Flasche), hörte die Krankheit sofort auf. Wieder ein Faktum, das stark darauf hinweist, daß es sich nicht um Fettstoff, sondern um Vitaminen dreht. Nach diesen Versuchen, die so schön mit den vorbesprochenen Rattenversuchen übereinstimmen, sollten also Flaschenkinder mit etwa 60 g ($^1/_{16}$ Liter) süßer Milch genug haben.

Erfahrungen mit Kriegskost.

Die deutsche Kriegskost unterscheidet sich von der vorhergehenden Friedenskost, indem sie eine kleinere Nahrungsmenge und besonders weniger tierische Produkte bietet. Die Folge hiervon ist, daß die Kost kalorienarm, eiweißarm und fettarm wird. Welche Folgen haben nun

---

[1] Vgl. *Ugeskrift for Laeger.* 1917. Nr. 8 bis 10.

[2] *Ebenda.* Nr. 29.

diese Reduktionen? Ja, das kann man nicht so leicht beurteilen, wenn man nicht Gelegenheit gehabt hat, die Verhältnisse an Ort und Stelle zu studieren. Aber daß viele Leute, besonders in den Städten, stark gehungert haben, darüber ist kein Zweifel. Das Auffallendste ist das Auftreten einer Krankheit „Kriegsödem" (Jürgens[1], Rumpel und Knack[2], Maase und Zondek[3], Knack und Neumann[4], Zak[5], Döllner[6] und andere). Die Krankheit zeigt sich durch starke Ödeme, Anämie (Hämoglobin 50 bis 90 Proz.), oftmals blutiger Durchfall und Augenleiden, Xerose. Mehrere der Verfasser heben hervor, daß es sich nicht um eine „Hungerkrankheit" drehen kann, da die Patienten genügend Nahrung bekommen konnten. Daß sie auf Eiweißmangel beruhen sollte, scheint nach unseren Untersuchungen ausgeschlossen zu sein. Zurück bleibt die Vermutung wegen Fettmangel, welche Vermutung dadurch unterstützt wird, daß sofortige Heilung bei Zuführung von Fettstoffen angeführt wird. Döllner nennt die Krankheit „Kartoffelkrankheit" — „trotz Hindhede" —, weil er dieselbe hauptsächlich bei einseitiger Kartoffelkost auftreten sah (Kartoffeln in großer und Kornprodukte in geringerer Menge). Er hebt hervor, daß die Kartoffeln nur in gekochtem Zustande angewandt wurden. Mit Hilfe von gebratenen Kartoffeln (also Fettzusatz) und Zuschuß von frischen Gemüsen konnte die Krankheit in wenigen Tagen geheilt werden. Es ist leicht zu verstehen, daß Döllner nicht „trotz Hindhede" zu schreiben brauchte. Hindhede hat niemals gesagt — oder gedacht—, daß man von Kartoffeln allein ohne Fettstoff leben kann. Die schnelle Heilung durch Fettstoff und Gemüse stimmt geradeso vortrefflich mit unseren Resultaten überein. Alles weist darauf hin, daß die Krankheit (wenn also Unterernährung nicht dennoch mitspielt) von dem Mangel gewisser Vitaminen herstammt, welche sich sowohl in Fettstoffen als auch in Gemüsen finden.

Auch Zak erläutert, daß die besprochene Krankheit nicht allein durch verschiedene tierische Produkte (rohe Eier, halbrohe Kalbsleber), sondern auch durch ausgepreßten Saft von Mohrrüben geheilt werden konnte.

---

[1] *Berliner klin. Wochenschr.* 1916. Nr. 9.

[2] *Ebenda.* 1917. Nr. 36.

[3] *Deutsche med. Wochenschr.* 1916. Nr. 44, 45 u. 46. 1917. Nr. 16.

[4] *Ebenda.* 1917. Nr. 29.

[5] *Wiener klin. Wochenschr.* 1917. Nr. 19.

[6] *Münchener med. Wochenschr.* 1917. Nr. 20.

Die praktische Bedeutung der Versuche.

Der große Nahrungsverlust, der mit der tierischen Produktion verbunden ist, geht aus folgenden Berechnungen hervor.[1]

Schweineproduktion.

Ein Schlachtschwein von 100 kg Lebendgewicht wird beim Schlachten ungefähr fogenden Ertrag bringen:

	Gewicht kg	Prozentualer Inhalt Eiweiß	Prozentualer Inhalt Fett	Gesamtinhalt Eiweiß g	Gesamtinhalt Fett g	Kalorien
Kopf	5·000	4·1	13·8	205	690	7255
Schulter	6·500	12·0	29·8	780	1937	21210
Lende	15·000	13·2	26·0	1980	3900	44385
Seitenstück	14·000	12·7	28·9	1778	4046	44912
Schinken	17·500	13·5	25·9	2363	4532	51853
Zehen	1·500	4·1	6·9	62	103	1215
Schwanz	0·125	4·1	66·9	5	84	799
Mürbebraten	0·500	18·9	13·0	95	65	992
Flaumen	3·000	1·7	85·3	51	2559	24006
Im ganzen	75·125			8099	24708	262987
1 kg Schlachtgewicht enthält				108	329	3501
Eingeweide:						
Nieren	0·167	15·5	4·8	26	8	181
Leber	1·500	21·3	4·5	320	67	1938
Lungen	1·000	11·9	4·0	119	40	860
Herz	0·167	17·1	6·3	28	11	217
Milz	0·166	15·7	5·8	26	10	200
Eingeweide	3·000			519	136	3396
100 kg Schwein gibt	78·125			8618	24844	266383
1 kg Lebendgewicht enthält				86	248	2664

Um 18 Ferkel zu produzieren von 25 Pfund — 12·5 kg — gehört zum Futter für Säue und Schweine:

	Prozentualer Inhalt			Eiweiß kg	Fett kg	Kohlehydrate kg	M-Kalorien[2]
3260 kg Rüben	1·3	0·2	9·5	42·4	6·5	309·7	1500
900 kg Magermilch	3·0	0·1	5·0	27·0	0·9	45·0	304
300 kg Schrot	12·0	2·4	68·7	36·0	7·2	206·1	1057
350 kg Kleie	14·3	4·2	62·4	50·0	14·7	218·4	1236
18 Ferkel				155·4	29·3	779·2	4097
1 Ferkel				8·6	1·6	43·2	228

[1] Siehe: *Anvendelse og Fordeling af Hösten* 1917 (Anwendung und Verteilung der Ernte 1917). Eingabe an das Ministerium des Innern vom Ausschuß vom 4. April. Diese Berechnungen sind von Dr. Hindhede auf Grundlage praktischer Erfahrungen ausgeführt und wurden von den übrigen Mitgliedern sanktioniert.

[2] M-Kalorien = 1000 Kalorien.

Futter für ein Ferkel von 12·5 kg zu 100 kg:

	Eiweiß kg	Fett kg	Kohlehydrate kg	M-Kalorien
350 kg Rüben	4·5	0·7	33·3	161
500 kg Magermilch	15·0	0·5	25·0	169
250 kg Schrot	30·0	6·5	171·7	880
12·5 bis 100 kg	49·5	7·7	230·0	1210
0 „ 12·5 kg	8·6	1·6	43·2	228
In Futter für im ganzen 100 kg Schwein	58·1	9·3	273·2	1438
100 kg Schwein gibt beim Schlachten	8·6	24·8		267
Gewinn (+), Verlust (−)	−49·5	+15·5	−273·2	−1171

Hauptresultat: Für 323 kg Eiweiß und Kohlenhydrate erhält man 15·5 kg Fett. Verlust im ganzen — gerechnet nach Kalorien — 81 Proz. Fettproduktion ist sehr teuer, und doch liefert das Schwein tierisches Fett am billigsten.

Wer denkt an den außerordentlich großen Verlust an Eiweiß, den die Schweineproduktion verursacht?

Hier ist noch mit reichlichem Futter gerechnet. Bei Hungerfütterung, die in diesen Zeiten so allgemein ist, ist das Resultat ein viel schlechteres. Wenn wir uns das obengenannte für ein Schwein auf zwei verteilt denken, wird ungefähr das ganze Futter zur Erhaltung gehen und nur ein kleiner Teil zum Körper zugelegt werden. Dies wird vor allem über die Fettproduktion hergehen. Die zwei zusammen werden kaum, wenn das Futter verbraucht ist, mehr als 100 kg wiegen, und sie werden sehr mager sein. Wird mit 75 kg Schlachtgewicht gerechnet — hoch gerechnet für magere Schweine — und mit einem Inhalt von 20·25 Proz. Eiweiß und 6·81 Proz. Fett (König I. S. 27) haben wir:

	Eiweiß	Fett		Kalorien
Zwei 50 kg Schweine geben beim Schlachten	15·2	5·1		110
Gewinn oder Verlust	−42·9	−4·2	−273·2	−1328

Hier wird noch Fett verloren. Kalorienverlust im ganzen 92 Proz.

Wenn Fettstoff nicht notwendig ist, ist Schweineproduktion unverantwortlich, wenn der Hunger im Ernste droht.

Eine andere Hauptquelle für Fettstoff ist die Milch. Aber obgleich die Milchproduktion, ernährungsphysiologisch gesehen, ebenso unrentabel wie Schweineproduktion ist (der Ausschuß vom 4. April hat mit einem Verlust von 81·6 Proz. gerechnet), so ist hier der Unterschied, daß die Milchkühe zum wesentlichen Teil mit Rüben, Heu und Stroh

auskommen können, Stoffen, die entweder gar nicht zur Menschennahrung gebraucht werden können oder doch nur selten als solche. Hiergegen kann jedoch eingewendet werden, daß, wo Rüben gebaut werden können, können auch Kartoffeln gebaut werden, und anstatt von Ackerheu kann Korn gebaut werden. Milch kann doch nicht ganz entbehrt werden; kleine Kinder, besonders diejenigen, die keine Muttermilch bekommen können, müssen Kuhmilch (oder Ziegenmilch) haben.

Eine dritte wichtige Fettquelle ist fettes Ochsenfleisch. Aber Ochsenzucht und Mast ist das unrentabelste von allem. Der vorgenannte Ausschuß hat hier einen Verlust von 95 Proz. berechnet. Ochsen können wohl zum großen Teil mit Rüben, Heu und Stroh auskommen, aber das Kalb trinkt viel Milch und in der Mastperiode wird viel Korn verlangt.

Nachschrift vom Dezember 1918: Januar bis Mai 1918 haben wir die Versuche fortgesetzt mit fettfreier Kost unter Reduktion der Nahrungsmenge. Die Resultate sind noch nicht vollständig bearbeitet. Es zeigte sich aber, daß Frederik Madsen mit etwa 3500 Kalorien (netto) nicht auskommen konnte. Sein Gewicht ging auf 65 kg herunter, das Aussehen wurde schlecht und die Arbeitsfähigkeit herabgesetzt. Im Mai mußten wir deshalb mit den Restriktionen aufhören. Sobald es Madsen erlaubt wurde, selbst die Menge zu bestimmen, nahm er auf Schwarzbrot (ungesiebtes), Gerstengrütze, Kartoffeln und Fruchtsuppe (ohne Fett) gewaltig an Gewicht zu. Aussehen und Arbeitsfähigkeit verbesserten sich schnell.

Wie viele Menschen kann Deutschland bei eigener Zucht ernähren?

Unternehmen wir ein Gedankenexperiment; nehmen wir an, daß die Deutschen — wie die Japaner — ihren Ackerboden zur Produktion von Menschennahrung überließen und nur Wiesen, Weiden und ähnliche Areale den Tieren. Wieviele Menschen könnte der deutsche Boden dann ernähren?

Wir denken uns die Bevölkerung allein von Kornprodukten, Wurzelfrüchten und Gemüsen lebend und berechnen folgenden Durchschnittsertrag pro Arealeinheit.[1]

---

[1] Für Korn und Kartoffeln ist der Bau nach den Zahlen bei Elzbacher ausgerechnet. (Die deutsche Volksernährung usw. S. 34.) Für Gemüse sind die Zahlen von Hessdörfers Gartenkalender von 1918 benutzt.

Roggen und Weizen im Durchschnitt 19·7 kg pro ha. Wird Saat abgerechnet, bleibt zurück: 18 kg pro ha = 0·18 kg pro qm. Kartoffeln 154 kg pro ha. Abgerechnet 25 Proz. für Saatkartoffeln und Schwund erhält man 116 kg netto = 1·16 kg pro qm.

Weißkohl	pro ar 480 kg brutto	= 355 kg netto	= 3·55 kg pro qm	
Möhren	„ „ 300 „ „	= 255 „ „	= 2·55 „ „ „	
Petersiliewurzeln .	„ „ 265 „ „	= 225 „ „	= 2·25 „ „ „	
Porree	„ „ 190 „ „	= 150 „ „	= 1·50 „ „ „	

Ein erwachsener Mann mit Mittelarbeit braucht pro Tag:

	Eiweiß g	Fett g	Kalorien	Pro Jahr kg	Braucht qm
600 g Brot = 450 g Getreide . . .	42	6	1500	165	917
1250 g Kartoffeln	20		1000	456	393
250 g Möhren	1·5		90	92	36
135 g Petersiliewurzeln	1·9		75	46	20
250 g Porree.	3·0		140	92	61
750 g Weißkohl	9·8		190	275	78
Im ganzen	78·2	6	2995	1126	1505

Die Zusammensetzung kann verschieden sein. Es können andere Gemüse (Sellerie, Weißkohl, Kohlrüben, Erbsen, Bohnen usw.) angewandt werden, aber die angeführten Sorten und Mengen geben eine gute Gemüsesuppe.

1500 qm sollten also hinreichend sein, um einem erwachsenen Mann Nahrung genug zu geben, wohl zu bemerken, wenn er leben will wie unsere beiden Versuchsindividuen. 1 ha sollte 6·7 Mann ernähren können. Da Deutschland 26·4 Mill. ha bebautes Areal hat[1], sollte also Nahrung sein für: 26·4 × 6·7 = 177 Mill. Mann oder über 200 Mill. Einwohner, und dann ist noch nicht mit der tierischen Produktion gerechnet worden, die hervorgebracht werden kann durch Abgrasen und Heumachen auf den 8·7 Mill. ha natürlichen Grasarealen. Auch ist nicht mit dem Fischfang gerechnet worden. Dann ist mit Mittelbau gerechnet. Bei intensiver Kultur kann die doppelte Menge Korn und Kartoffeln pro Arealeinheit gebaut werden.

Daß diese Berechnungen nicht reine Phantasieposten ohne Möglichkeit der Durchführung in Wirklichkeit sind, geht aus Vergleich mit japanischer Lebensweise hervor. Nach Heber[2] fanden sich in Japan

[1] Sundbärg, *Apercus statistiques internationaux.* 1908. p. 178.

[2] *Japanische Industriearbeit. Probleme der Weltwirtschaft.* Bd. VII. S. 201. Fischer. Jena 1912.

1908 5860000 Bauernfamilien von im Durchschnitt 5·6 Personen. Sie machen 64 Proz. der Bevölkerung des Landes aus. 70 Proz. derselben haben nur bis zu 1000 qm pro Familie, also weniger als 200 qm pro Kopf. Daß diese Bauern in großer Armut leben, besonders da sie mit hohen Steuern belegt werden, ist nicht zu verwundern. Es ist nur unverständlich, daß sie nicht verhungern; noch weniger zu begreifen, daß sie sich Einnahmen zur Bestreitung der allernotwendigsten Ausgaben verschaffen können. Nun hilft es selbstverständlich, daß ein so kleines Areal sehr intensiv durch Spatenkultur bebaut werden kann und daß das Klima in der Regel zwei Ernten im Jahre zuläßt.

Die Speisezettel der japanischen Bauern sind lehrreich. Ich will unten einige Tabellen anführen, die sich im japanischen Pavillon in der Dresdner Ausstellung 1911 befanden. Sie geben in kurzer Form einige Untersuchungen an, unternommen von Generalstabsarzt Inaba unter Leitung von Kumagara, Professor an der Universität Tokio.[1]

Tabelle I.

Durchschnittsverbrauch pro Tag für 7 Mann in 7 Tagen. Arbeitszeit 15 bis 16 Stunden. Alter 18 bis 32 Jahre. Tagelohn außer Kost 0·63 bis 1·05 Mark (56 bis 94 Öre).

	Menge g	Trockensubstanz g	Eiweiß g	Fett g	Kohlehydrate g	Kalorien
Reis-Gerstengrütze, gekocht	2187	795·0	79·5	13·9	635·00	3057
Misosuppe[2]	799	60·5	14·1	5·61	11·8	158
Takuwan[3]	91	11·4	0·89	0·034	1·23	9
Sojabohnen	119	54·6	19·6	8·74	11·8	210
Grüne Erbsen mit Schale	29	7·8	1·88	0·121	2·1	28
Tafu (Bohnenkäse)	36	7·2	3·51	1·88	0·634	34
Getrockneter Hering	23	9·1	6·26	1·26	0·676	40
Im ganzen	3284	946	125·7	31·5	663	3536
Verdaut		867	89·1	21·2	656	3259
Verlust in Proz.		8·3	29	33	1·02	7·84

[1] Siehe Katalog des japanischen Pavillons. Es wird geschrieben: Die Tabellen I und II veranschaulichen in kurzer Form die Lebensweise der japanischen Bauern, welche die Majorität der Bevölkerung ausmachen.

[2] Miso ist eine gegorene Bohnenmasse.

[3] Über Takuwan habe ich keine Aufklärung erhalten können, aber es scheint wesentlich aus Salzen zu bestehen.

Tabelle II.

Durchschnittsverbrauch pro Tag für 5 Mann in 7 Tagen. Arbeitszeit 9 bis 10 Stunden.

	Menge g	Trocken-substanz g	Eiweiß g	Fett g	Kohle-hydrate g	Kalorien
Reis, gekocht . . .	282	76·6	6·50	1·084	67·4	314
Reis-Gerstengrütze, gekocht	1535	479	46·04	9·40	387	1866
Reiskuchen	40	21·70	2·17	0·171	16·6	79
Nudeln	195	45·7	4·79	0·57	3·77	179
Misosuppe	489	24·4	5·01	2·0	3·8	35
Eieräpfel mit Miso .	25	5·3	1·07	0·833	0·85	15·6
Zwiebel mit Miso .	35	11·5	1·94	0·954	1·89	24·6
Bohnensalat	17	4·9	1·22	1·27	0·79	20
Bohnenspeise . . .	6	2·06	0·23	0·059	0·41	3·2
Gesalzte Eieräpfel .	11	2·0	0·095	0·011	0·078	0·8
Kartoffeln	137	30·7	3·26	0·184	22·6	108
Gurken	85	5·33	0·98	0·41	3·5	22
Takuwan	74	9·3	0·723	0·028	1·0	7·3
Reiswein	37					33
Hühnereier	7·4	2·01	0·915	0·736		10·6
Gesalzener und getrockneter Fisch .	12·5	8·8	5·945	0·863		32·6
Im ganzen . . .	2989	729	81·4	18·6	544	2770
Verdaut		672	55·2	10·6	536	2524
Verlust in Proz. .		7·9	32·2	43·2	1·38	8·43

Folgende Zusammenstellung gibt eine kurze Übersicht:

	Kost I Kalorien		Kost II Kalorien	
	Absolut	Proz.	Absolut	Proz.
Korngerichte	3057	86·5	2438	88·0
Bohnengerichte	430	12·1	118	4·3
Andere Gemüse			131	4·7
Wein			33	1·2
Takuwan	9	0·3	7	0·3
Fisch, Eier	40	1·1	43	1·5
Im ganzen	3536	100·0	2770	100·0

Wie man sieht, ist die japanische Kost Kornkost. Doch essen die Japaner kein Brot, sondern Grütze. Die tierischen Fettstoffe fehlen, aber die Japaner haben instinktiv die fehlenden „fettlösliche“ Vitaminen in Hülsenfrüchten und Gemüsen gefunden. Da Korn, Hülsenfrüchte und Gemüse über 98 Proz. der Kost ausmachen, können wir verstehen, daß die Japaner mit einem erstaunlich kleinen Bodenareal auskommen können.

Diese Untersuchungen werden gestützt von Aussprüchen von Oschima, Direktor einer landökonomischen Versuchsstation in Japan.

Er schreibt in seinem Bericht: Untersuchungen über japanische Lebensweise betreffend[1]:

„Die ländliche Bevölkerung im Innern lebt wesentlich oder fast ausschließlich vegetarisch. Fisch wird vielleicht ein- oder zweimal im Monat gegessen und Fleisch höchstens ein- oder zweimal im Jahr. Die arme Bevölkerung in den Städten wendet auch sehr wenig tierische Kost an. Aber die Arbeiterklasse in den Städten und die Bauern machen ungefähr 75 Proz. der ganzen Bevölkerung aus, und man kann deshalb mit Bestimmtheit sagen, daß dieser Teil im wesentlichen oder ausschließlich von Vegetabilien lebt. Und das ist, wohl zu bemerken, buchstäblich Vegetarismus. Der sogenannte Milchvegetarismus ist in Japan unbekannt. Kühe sind selten und Milch und Milchprodukte sind teuer und werden deshalb fast ausschließlich von der bessergestellten Bevölkerung verzehrt."

Oschima führt weiter an, daß die ländliche Bevölkerung gesünder und kräftiger ist als die gutgestellte Stadtbevölkerung. Aber hier spielen selbstverständlich auch andere Gründe als die Kost mit.

Aber die Japaner haben jedenfalls bewiesen, daß diese Rasse sich durch Jahrtausende hat kräftig, arbeitstüchtig bei fast rein vegetarischer Kost erhalten können, sogar ohne Milch. Ja, bei einer Kost, die nur eine minimale Menge von Fettstoff enthält.[2] Daß die europäische Rasse auf dieselbe Weise leben kann, ist ja nicht gesagt. Doch unsere Versuche deuten stark darauf hin.

Die Konsequenz des Angeführten ist also, daß, wenn man bis zum äußersten gehen wollte, in Deutschland die dreifache Menge Menschen leben könnten. Doch was würde die Folge davon sein, wenn das Land Nahrung für 200 Millionen produzierte, solange sich dort nur 65 Millionen befinden? Zwei Drittel der Ernte müßten exportiert werden. Aber dies würde ausgeschlossen sein, wenn die anderen Länder ihre Produktion auf dieselbe Weise umlegten. In diesem Falle würde es keinen anderen Ausweg geben, als zwei Drittel wegzuwerfen. Die Folge davon würde ein außerordentlicher Preisfall in erster Linie der Produkte und darauf des Bodens sein. Es würde der Ruin der jetzigen Bodenbesitzer sein. Doch diese Gefahr brauchen wir in absehbarer Zeit kaum zu befürchten. Ganz

---

[1] Kintaro Oschima, *A Digest of Investigations on the Nutrition of Man. U. S. Departement of Agriculture.* Bull. Nr. 159. S. 75.

[2] Vor einer Reihe von Jahren litten die Japaner oft an einer Ernährungskrankheit „Beri-beri". Aber diese Krankheit stammt weder von Fleisch- oder Fettmangel her, sondern von den europäischen Reispoliermaschinen.

abgesehen vom Standpunkt der Wissenschaft wird alte Gewohnheit, Geschmack und Interesse der Produzenten vereint dafür sorgen, eine gewisse tierische Produktion aufrecht zu erhalten. Die Gefahr, die augenblicklich droht, kommt von der entgegengesetzten Seite. Es ist die Furcht vor Fleisch- und Fettmangel, welche vermeintlich mehr als alles andere dazu beigetragen hat, große Teile von Europas Bevölkerung an die Hungerpforte getrieben zu haben. Ist man erst klar darüber, daß diese Furcht der Berechtigung entbehrt, sollte ein jedes Land der Sicherheit wegen dafür sorgen, daß so viel Korn, Kartoffeln und Gemüse zur Verfügung des Volkes stehen, daß Hunger ausgeschlossen ist, selbst wenn die Zufuhr von außen abgeschnitten ist. Was dann übrig bleibt, kann immer mit gutem Gewissen für die Haustiere verwendet werden, besonders für diejenigen, welche uns Milch und Butter verschaffen.

Diese theoretischen Berechnungen werden durch die Erfahrungen des Krieges bekräftigt. Es ist sehr lehrreich, die Rationierungsmethoden in Deutschland und Dänemark zu vergleichen. Ungefähr so wie Deutschland im August 1914 gestellt war, wurde Dänemark im Frühjahr 1917 gestellt, als die vollständige Blockade auch für die Neutralen eintrat.

Wenn wir nach Abzug von Aussaatkorn, Legekartoffeln und Verlust uns denken, daß aller Roggen und Weizen zu Brot verbacken wird — ohne Siebung — und alle Gerste zu Grütze gemacht (60 Proz. Ausbeute), sowie daß alle Kartoffeln zu Menschennahrung angewandt werden (20 Proz. Abfall beim Schälen), könnten pro Kopf und Tag folgende Mengen zur Verfügung stehen:[1]

	Deutschland 1914		Dänemark 1917	
	g	Kalorien	g	Kalorien
Roggenbrot	479	1200	277	692
Weizenbrot	210	525	210	525
Gerstengrütze	75	263	276	966
Kartoffeln	1535	1228	673	538
Pro Kopf		3216		2721
Pro erwachsener Mann etwa		4000		3400

Ganz abgesehen von anderen Pflanzenprodukten und von allen tierischen Produkten, konnten beide Länder reichlich Nahrung für den menschlichen Bedarf schaffen allein durch die vier genannten Hauptprodukte. Von Hunger konnte nur die Rede sein, wenn bei der Verteilung die Haustiere — besonders die Schweine — zuerst berücksichtigt würden.

[1] Ausführliche Berechnungen in *Ugeskrift for Laeger (Wochenschrift für Ärzte)*. 1919. Nr. 5. Kopenhagen.

Der dänische Rationierungsausschuß ging — gestützt u. a. auf unsere Versuchsresultate — von folgenden Hauptgrundsätzen aus:

1. Aller Roggen und Weizen — einschließlich der Kleie — wird der Bevölkerung vorbehalten.

2. 70 Proz. der Gerste und 60 Proz. der Kartoffeln werden der Bevölkerung vorbehalten.

3. Es wird nur nach Kalorien gerechnet und keine Rücksicht auf Eiweiß und Fett genommen.

Diese Grundsätze, die von Möllgaard und Hindhede behauptet wurden, wurden von dem ganzen Ausschuß gutgeheißen. Der Plan, der im wesentlichen vom Reichstag gutgeheißen wurde, wurde danach gelegt.

Die von Korn und Kartoffeln berechneten Mengen waren, wenn alle die anderen Nahrungsmittel in Betracht genommen wurden, so reichlich, daß ein gewisser Überschuß vorausgesehen werden konnte. Ein solcher ist aus vielen Gründen notwendig.

Aber die Folge dieser reichlichen Rationierung der Menschen war, daß der Schweinebestand in kurzer Zeit auf $^1/_5$ dessen reduziert werden mußte, was er vor dem Kriege war. Dieser starke Rückgang des Schweinebestandes hat bewirkt, daß es nicht notwendig war, den Kühebestand auch nur annähernd so stark einzuschränken. Wir können deshalb der Bevölkerung 300 ccm Milch pro Tag und 250 g Butter pro Woche verschaffen. Diese Rationen, zusammen mit etwas Ochsenfleisch und reichlichem Gemüse, geben uns eine Kost, die ebenso kalorienreich, wenn auch weniger eiweiß- und fettreich als vor dem Kriege, ist. In Dänemark gibt es keinen Menschen, der zu hungern braucht. Ja, wir haben auch noch unseren weniger gut gestellten Nachbarn einen kleineren Beitrag geben können.[1]

[1] Als Beispiel für die Nahrungsmengen, welche für die Bevölkerung der beiden Länder zur Verfügung standen, sollen folgende Zahlen angeführt werden:

	Dresden 1917					Kopenhagen 1918			
	Menge A	Menge B	Eiweiß	Fett	Kalorien	Menge	Eiweiß	Fett	Kalorien
	g	g	g	g		g	g	g	
Fleisch	25	14	2·8	1·0	23	30	4·8	2·1	40
Butter	10	5		4·2	39	37		31·8	296
Milch						300	9·8	10·5	196
Brot	286	214	11·9	0·5	542	270	21·6	1·6	702
Mehl						56	5·6	0·6	202
Grütze	9	2	0·2		7	100	9·6	1·0	350
Zucker	26	3			12	70			280
Kartoffeln . . .	179	90	2·3	0·1	82	500	8·0		400
Kohlrüben . . .	357	500	4·9	0·2	171				
			22·1	6·0	876		58·6	47·6	2466

Daß die dänische Bevölkerung durch die Brot-, Grütze-, Kartoffelkost keinen Schaden genommen hat, geht daraus hervor, daß der Gesundheitszustand 1917 bis 1918 — wobei die Grippe eine Störung darin verursachte — ein besserer war als seit mehreren Jahren.

Der Unterschied zwischen dänischer und deutscher Rationierung liegt kurz gesagt darin, daß, während Dänemark konsequent und ohne Schwanken seinen Plan in Übereinstimmung mit den neuen Ernährungsgrundsätzen gelegt hat, die deutschen Autoritäten hin- und hergeschwankt haben. Sie wagten nicht, die Schweine zeitig zu schlachten, teils wegen des rasenden Widerstandes der Bauern, teils aus Furcht vor Fleisch- und Fettmangel. Das Resultat waren hungernde Menschen, die nicht genug Brot, Grütze und Kartoffeln bekommen konnten, und viele hungernde Haustiere, die wohl fressen konnten, aber nichts produzierten. Auf diese Weise führte Angst vor Fleisch- und Fettmangel nicht nur zu Hunger, sondern gerade zu Fleisch- und Fettnot.[1]

Für Dresden bedeutet A, worauf die Karten lauteten, B, was in Wirklichkeit beschafft werden konnte. Hierzu kommen die gut 300 Kalorien, die ohne Karten erhältlich waren (Obst, Gemüse, Kuchen, Käse), womit die ganze Ernährung pro Kopf sich auf 1217 Kalorien stellte, 1520 Kalorien pro erwachsenem Mann entsprechend. Man begreift nicht, daß von einer solchen Hungerkost gelebt werden kann. Daß die Dänen auch andere Nahrungsmittel (Gemüse usw.) als Zuschuß bekommen konnten, ist selbstverständlich.

[1] Korrekturbemerkung vom 5. Mai 1919.

Es wird jetzt sehr interessant sein, zu sehen, wie Deutschland die Unterernährung aufhelfen werde. Nach den alten Theorien sollte jetzt eine reichliche Fleisch-Fett-Kost erwünscht sein. Aber dafür ist die erste Bedingung: Aufhelfung dem herabgekommenen Haustierenbestand. Aber, um dieses Ziel zu erreichen, müssen entweder: 1. große Mengen von deutschem Getreide und Kartoffeln aufgefüttert werden oder 2. große Mengen von Futterstoffen vom Auslande importiert werden. — 1. Bedeutet, daß die Menschen noch Jahre hungern müssen. 2. Bedeutet Milliardenauslagen, die vielleicht unmöglich sein werden.

Nach den neuen Theorien müßten die Haustiere warten bis die Menschen ausreichend mit Getreide, Kartoffeln, Gemüse und Frucht ernährt sind. Das würde unendlich viel leichter gehen.

Ich verneine natürlich nicht, daß Fleisch eine vorteilhafte Beilage zu Brot und Kartoffeln sein kann, aber ich behaupte, daß man ebenso gut — und vielleicht besser — mit vegetabilischer Diät auskommen kann. In dieser Richtung würde jetzt in Deutschland ein vorzügliches Experimentfeld vorhanden sein.

Aber solche Experimente dürfen nicht von Experimentatoren geleitet werden, die keine Erfahrungen in betreff vegetabilischer Ernährung haben. Es sind hier verschiedene Fallgruben zu umgehen.

Es war ein merkwürdiges Glück, daß unsere Untersuchungen sich gerade in den Jahren unmittelbar vor dem Kriege darum drehten, was in der Kriegszeit die brennende Frage war. Daß unsere Landsleute nun ihre Anerkennung für die Hilfe aussprechen, die wir geleistet, kann uns nur freuen. Aber es würde uns noch mehr gefreut haben, wenn unsere Untersuchungen auch für unsere Nachbarn von Nutzen gewesen wären. Ich denke hier nicht zum mindesten an die anderen skandinavischen Länder, wo man scheinbar ähnliche Fehler wie in Deutschland begangen hat. Man scheint nicht recht verstanden zu haben, daß es, wenn die Bevölkerung vom Hunger bedroht wird, ganz unverantwortlich ist, Korn und Kartoffeln zu Schweinefutter zu benutzen, ja Futterstoffe auf dem Boden zu bauen, auf dem ebensogut Nahrungsmittel wachsen könnten.

Exkrementenanalysen.

Frederik Madsen.

Periode	Analyse Nr.	Menge frisch	Menge getrocknet	Trockensubstanz Prozent	In 100 g Trockensubstanz N	Fett	Asche	Rest	Kalorien
1	132	3100	611	19·71	4·57	10·27	12·11	49·00	483·88
2	133	3400	596	17·53	4·27	11·59	14·30	47·49	481·01
3	134	4000	719	17·98	4·36	11·71	14·56	46·46	485·91
4	135	4700	794	16·91	4·73	12·11	13·68	45·55	493·70
5	136	2500	539	21·56	4·40	10·53	13·49	48·45	478·29
6	137	3500	717	20·49	4·10	10·74	11·39	52·22	498·18
7	138	3500	695	19·86	4·05	11·14	11·56	52·01	508·17
8	139	1800	408	22·67	5·16	19·85	14·01	33·89	535·31
9	140	2500	546	21·84	5·96	17·53	14·05	31·18	535·16
10	141	2800	591	21·11	4·64	17·13	14·71	39·07	515·78
11	142	8300	1438	17·33	3·87	12·41	13·93	51·66	487·30
12	143	4300	728	16·93	4·02	9·73	13·63	51·51	489·48
13	144	4800	984	20·50	4·27	9·97	12·92	50·42	492·93
18	145	13100	2401	18·33	3·77	9·20	12·19	55·05	483·90
20	146	10500	2081	19·82	3·76	9·40	11·46	55·64	504·12
21	147	8200	1899	23·16	4·79	12·75	10·64	46·67	528·45
22	147b	11500	2454	21·34	3·67	9·62	10·28	57·16	511·33
23	148	11000	2248	20·44	4·04	9·15	11·66	53·94	505·14
24	149	11000	2089	18·99	4·17	9·49	11·39	53·06	507·70
25	150	12200	2331	19·11	3·94	9·43	12·07	53·88	492·00
26	151	5800	1124	19·38	3·76	9·47	12·66	54·37	503·54

(Fortsetzung.)

Holger Madsen.

Periode	Analyse Nr.	Menge frisch	Menge getrocknet	Trockensubstanz Prozent	In 100 g Trockensubstanz N	Fett	Asche	Rest	Kalorien
1	59	3300	537	16·27	4·18	9·42	10·05	54·47	504·20
2	60	3000	448	14·93	4·60	9·08	11·20	50·99	511·40
3	61	3000	526	17·53	4·49	11·46	13·54	46·96	509·87
4	62	3700	599	16·19	4·56	12·68	12·48	46·35	487·42
5	63	2000	319	15·95	5·96	12·73	12·30	37·97	531·06
6	64	1500	289	19·27	5·02	12·77	11·24	44·59	500·21
7	65	2200	346	15·73	5·58	12·56	12·52	40·04	500·21
8	66	1500	335	22·33	5·39	17·14	11·55	37·61	519·21
9	67	1500	358	23·87	5·16	15·00	9·82	42·96	559·22
10	68	3000	631	21·03	4·64	15·06	11·02	44·93	510·62
11	69	5700	849	14·89	4·81	12·05	14·55	43·30	520·49
12	70	3000	512	17·07	4·33	11·44	12·80	48·68	504·36
13	71	3000	550	18·33	4·35	11·40	13·09	48·32	500·22
14	72	6600	1316	19·94	4·38	10·43	12·77	49·42	466·81
15	73	6400	1293	20·20	3·87	10·34	12·96	52·51	487·14
16	74	7000	1388	19·83	3·77	9·99	12·62	53·83	500·33
17	75	6500	1171	18·02	3·80	10·01	12·48	53·76	491·80
18	76	6900	1262	18·29	3·99	10·45	12·23	52·38	489·12
19	77	5900	1040	17·63	3·77	10·97	12·40	53·07	512·66
20	78	4000	738	18·45	3·69	11·17	11·81	53·96	518·25
21	79	3200	553	20·41	4·27	8·84	10·62	53·85	510·76
22	79b	12100	2075	17·15	4·07	7·92	10·10	56·54	506·78
23	80	8000	1519	18·99	4·83	11·20	10·55	48·06	514·84
24	81	6960	1314	18·88	5·16	9·75	10·02	47·98	522·37
25	82	6900	1328	19·25	4·64	10·75	10·94	49·31	512·70
26	83	4400	777	17·66	4·04	11·10	11·03	52·62	507·69

A. Brummerstedt.

Periode	Analyse Nr.	Menge frisch	Menge getrocknet	Trockensubstanz Prozent	N	Fett	Asche	Rest	Kalorien
1	1	8600	2012	23·40	3·90	10·02	10·02	55·58	511·47
2	2	6500	1451	22·32	3·38	11·56	10·90	56·41	503·32
3	3	3400	741	21·79	4·54	12·75	10·30	48·57	508·43
1	4	8500	1424	16·75	4·38	10·43	11·93	50·26	512·18
2	5	3300	692	20·97	4·13	10·10	11·62	52·47	502·11

Über die Einwirkung von Giften auf einen enzymatischen Prozeß.[1]

Fünfte Mitteilung.

Alkaloide. Koffein.

Von

C. G. Santesson.

(Aus der pharmakologischen Abteilung des Karolinischen mediko-chirurgischen Instituts zu Stockholm.)

In einer Reihe von früheren Arbeiten[2] habe ich Versuche mitgeteilt über die Wirkung zahlreicher, hauptsächlich anorganischer Substanzen — Salze, Basen, Säuren, gewisser Arsenikverbindungen und Phosphor — auf das H_2O_2-zersetzende Vermögen von Katalase der Froschmuskeln. In einer besonderen Abhandlung hat E. Hammarsten[3] die Wirkung einiger organischer Körper — Kreatinin, Kreatin, Phosphorfleischsäure (Siegfried), Cholinchlorid, Muskarin-$PtCl_4$ und Acetaldehyd — auf denselben Katalaseprozeß geprüft und dabei gefunden, daß Kreatinin anfangs den Verlauf beschleunigt, die übrigen aber denselben mehr oder weniger stark verlangsamt, das Muskarindoppelsalz sogar sehr stark. Die hemmende Wirkung des Acetaldehyds scheint wesentlich davon abhängig zu sein, daß dieser Körper mit dem Wasserstoffsuperoxyd in irgendeiner Weise reagiert. Hammarsten teilt auch mit, daß er den Harnstoff und den Alkohol in Lösungen von 5 bis 0·25 Proz. ohne Wirkung gefunden hat.

---

[1] Der Redaktion am 24. Januar 1919 zugegangen.

[2] Vgl. Archiv f. exper. Path. u. Pharm. 1908. Suppl.-Bd. Schmiedeberg-*Festschrift* Nr. 53. — *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 99 bis 142; 1915. Bd. XXXII. S. 405 bis 428; 1915. Bd. XXXIII. S. 97 bis 152.

[3] E. Hammarsten, *Dies Archiv.* 1913. Bd. XXIX. S. 46 bis 59.

Ich habe jetzt noch eine Gruppe von organischen Körpern zur Prüfung aufgenommen, nämlich einige Alkaloide und das Koffein. Außer dem letzterwähnten Muskelgifte habe ich auch dem Chinin und dem Veratrin meine Aufmerksamkeit gewidmet, sonst aber auch die Wirkung anderer organischer Basen untersucht. Im allgemeinen habe ich sowohl die freien Basen als auch ein Salz, meistens die Hydrochloride, geprüft.

Die Methodik der Versuche ist schon in meinen früheren Arbeiten beschrieben worden — so auch die Berechnung der Versuche, die jedesmal mit sogen. „Normalversuchen" — mit Aq. dest., Muskelextrakt und H_2O_2 in immer gleichen Proportionen — verglichen wurden. Aus sämtlichen Normalversuchen wurde ein Mittelwert ausgerechnet und unter Anwendung dieses Normalwertes sämtliche Versuche so umgerechnet, daß sie alle untereinander möglichst vergleichbar werden. In den Tabellen unten sind nur die so umgerechneten Teilstrich-(Volumen-)Werte für 10 Minuten-Perioden sowie die Totalwerte für jede 30 Minuten-Reihe — so auch die Werte der ersten 5 Minuten — angegeben worden. Die Kurven dagegen stellen die ganzen Versuche in ihren Einzelheiten dar.

Bei der Zusammenstellung sämtlicher 72 Normalversuche von der Periode Januar bis Mai 1918 wurde, trotz zahlreicher Schwankungen, doch im ganzen bemerkt, daß die Normalwerte mit der Zeit und mit steigender Temperatur des Wasserbades, worin der kleine Apparat zum Teil versenkt war, zunahm (vgl. Fig. 1; die ausgezogene Linie gibt die Teilstrichwerte der Normalversuche, die unterbrochene Linie gibt die mittlere Temperatur des Wasserbades während einer gewissen Periode an). Die mittleren Temperaturunterschiede sind nicht groß, die Unterschiede der Volumina dagegen recht auffallend (siehe die Zahlen unterhalb der Kurven). Bemerkenswert ist der Parallelismus der Kurven gegen Mitte Mai. Eine Mitwirkung der Temperatur auf die Gestaltung der Normalwerte ist ganz deutlich. Während der Periode 22. III. bis 10. V. ist dagegen von einer Übereinstimmung des Kurvenverlaufes wenig zu sehen, was wohl darauf hindeutet, daß die Temperatur nicht der einzige Faktor ist, der die Schwankungen bedingt.

Daß dasselbe Gasvolumen bei gleichem Druck mit steigender Temperatur mehr Raum einnimmt, ist ja nichts Auffallendes. Daß ebenfalls bei verschiedenen Temperaturen der untersuchte Katalaseprozeß verschieden rasch verläuft, habe ich früher[1] nachgewiesen. Der Vergleich der Temperatur- und Volumenkurven hat hier den Sinn darzulegen, daß wohl die Temperatur von Bedeutung ist, daß aber auch andere

[1] C. G. Santesson, *Archiv f. exper. Path. u. Pharm.* 1908. Suppl.-Bd. Nr. 53. S. 475.

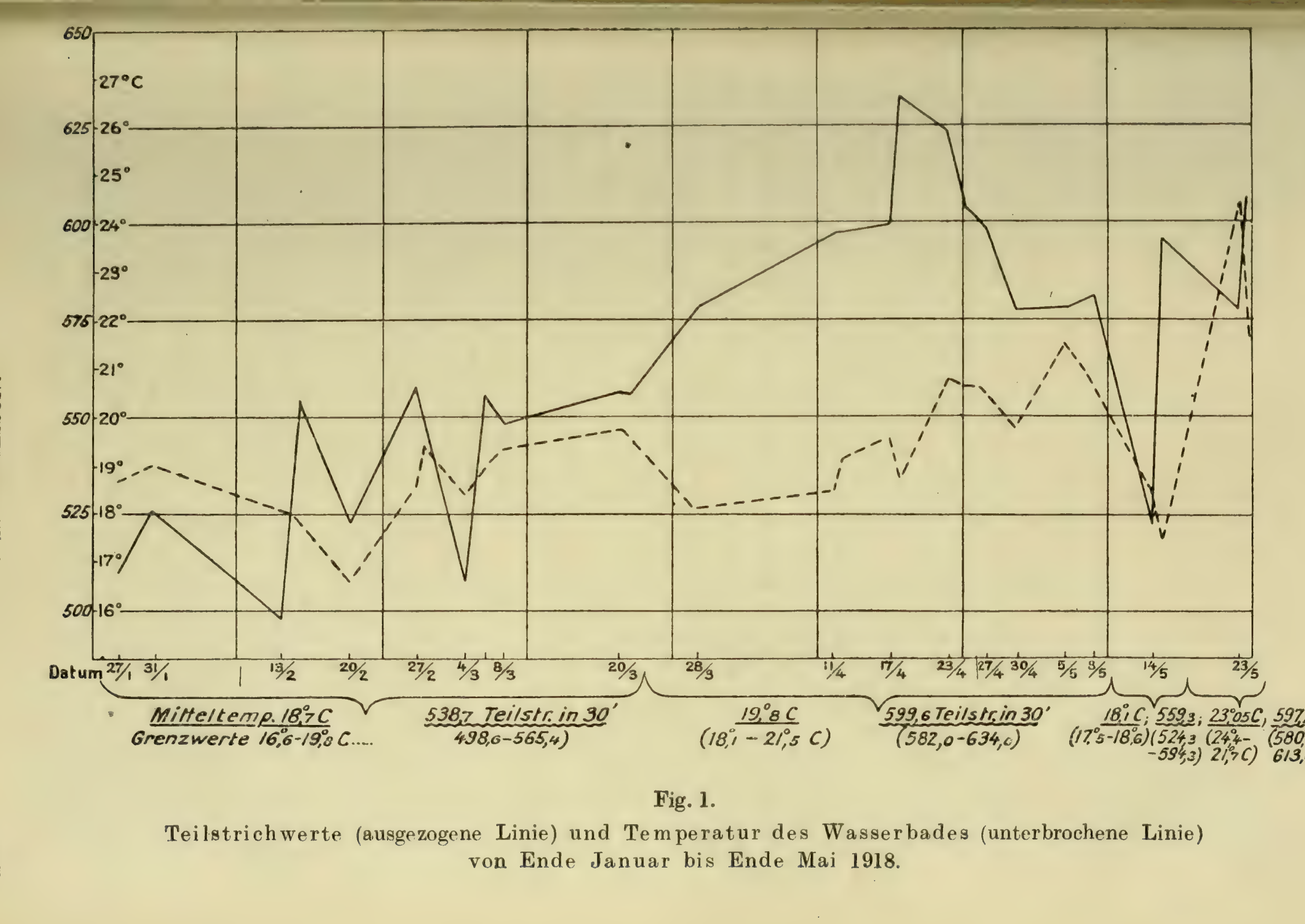


Fig. 1.

Teilstrichwerte (ausgezogene Linie) und Temperatur des Wasserbades (unterbrochene Linie) von Ende Januar bis Ende Mai 1918.

Variabeln vorkommen, die nicht näher geregelt werden können. Hammarsten hat[1] Versuche über die Intensität der Katalasewirkung aus verschiedenen Monaten (Januar bis August sowie Dezember) zusammengestellt und dabei die größten Werte im Februar, die niedrigsten im Juli und August gefunden. Aus den Beobachtungen geht hervor, daß man täglich die „Giftversuche" mit „Normalversuchen" vergleichen muß — am besten wird ein „Normalversuch" am Anfang und am Ende der „Giftreihe" ausgeführt.

Neue Versuche.

Ich lasse hier zunächst in größter Kürze eine tabellarische Übersicht der neuen Versuche mit Hinweis auf die hinten beigefügten Kurven folgen und werde nachher die Resultate besprechen. Ich bemerke, daß zu den Versuchen meistens Normallösungen oder N/10-Lösungen der betreffenden Substanzen dargestellt wurden. Da aber bei jedem Experiment zu 1 ccm einer solchen Lösung 10 Tropfen Muskelextrakt — gewogen 0·27 g — und 0·51 ccm H_2O_2-Lösung hinzugefügt wurden, ist die betreffende Substanzmenge jedesmal auf 1·78 ccm statt auf 1 ccm verteilt. Also habe ich z. B. statt mit einer N/10-Lösung tatsächlich mit einer Lösung N/17·8 gearbeitet — daher die durchweg unebenen Werte der molekularen Konzentration. In der Tabelle unten sind die Teilstrichwerte, die eine fördernde Wirkung der betreffenden Substanzen im Vergleich mit den Normalwerten angeben, mit fetteren Ziffern gedruckt.

Versuchstabelle.

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten					Kurve
				1—5	1—10	11—20	21—30	1—30	
Pyridin C_5H_5N	$\frac{N}{1\cdot78}$	4·44	16·8	**279·2**	386·8	82·3	39·9	509·0	I, 1
	$\frac{N}{8\cdot9}$	0·88	16·8	**305·0**	**424·0**	96·3	46·1	566·4	—
	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·44	16·9	**354·3**	**461·5**	77·5	34·6	573·6	I, 2
	$\frac{N}{89}$	0·088	16·9	**284·5**	**415·9**	107·1	40·0	563·0	—
	$\frac{N}{178}$	0·044	17·1	**294·2**	**431·1**	81·8	33·0	545·9	I, 3
Normalversuch	—	—	—	224·9	403·0	126·0	41·0	570·0	I, 4

[1] A. a. O., S. 56.

(Fortsetzung.)

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten					Kurve
				1—5	1—10	11—20	21—30	1—30	
2. Chinolin C_9H_7N, mit Aq. dest. geschüttelt	Unbekannt	Unbekannt	18·8	127·4	299·8	183·1	68·8	551·7	II, 1
Normalversuch	—	—	—	146·5	365·0	169·8	35·2	570·0	II, 2
3. Chinin $C_{20}H_{24}N_2O_2$	$\frac{N}{2373}$	0·0137	19·3	**174·5**	**383·5**	176·6	52·3	**612·4**	III, 1
Normalversuch	—	—	—	145·3	339·7	175·5	50·8	570·0	III, 2
4. Chininum hydrochloricum $C_{20}H_{24}N_2O_2$ — $HCl + 2H_2O$	$\frac{N}{35·6}$	1·124	18·9	64·4	151·1	165·8	118·9	435·8	IV, 1
	$\frac{N}{178}$	0·225	19·0	152·8	317·5	153·9	64·8	536·2	IV, 2
	$\frac{N}{890}$	0·045	18·3	206·4	357·0	122·0	51·6	530·6	IV, 3
Normalversuch	—	—	—	235·9	418·7	114·9	36·4	570·0	IV, 4
5. Chininum hydrobromicum $C_{20}H_{24}N_2O_2$ — $HBr + H_2O$	$\frac{N}{35·6}$	1·19	18·5	50·7	132·3	179·1	139·6	451·0	V, 1
	$\frac{N}{178}$	0·238	18·6	124·0	288·2	179·6	82·5	550·3	V, 2
Normalversuch	—	—	—	213·0	439·0	98·6	32·4	570·0	V, 3
6. Veratrina	—	0·0208	19·4	**230·6**	**418·8**	125·4	40·0	**584·2**	VI, 1
Normalversuch	—	—	—	210·3	393·8	126·2	50·0	570·0	VI, 2
7. Cevadinum hydrochloricum $C_{32}H_{49}NO_9 \cdot HCl$	$\frac{N}{17·8}$	3·53	19·9	64·8	154·8	165·0	117·3	437·1	VII, 1
	$\frac{N}{178}$	0·353	20·0	106·5	230·6	156·3	92·0	478·9	VII, 2
	$\frac{N}{1780}$	0·0353	20·0	178·3	359·2	144·3	58·5	562·0	VII, 3
Normalversuch	—	—	—	203·9	394·1	132·4	43·5	570·0	VII, 4
8. Koffein $C_8H_{10}N_4O_2 + H_2O$	$\frac{N}{35·6}$	0·596	19·1	243·5	386·8	114·4	41·5	542·7	VIII, 1
	$\frac{N}{178}$	0·119	19·2	242·9	406·8	106·5	38·3	551·6	VIII, 2
Normalversuch	—	—	—	271·2	440·6	95·0	34·4	570·0	VIII, 3
9. Nikotinbase $C_{10}H_{14}N_2$	$\frac{N}{17·8}$	0·91	18·9	256·7	395·7	88·8	37·8	522·3	IX, 1
	$\frac{N}{35·6}$	0·455	19·0	280·4	434·3	98·4	35·7	568·4	—
	$\frac{N}{178}$	0·091	20·2	**300·0**	**474·3**	98·1	30·5	**602·9**	—
	$\frac{N}{1780}$	0·0091	20·0	**305·3**	**482·6**	112·1	34·6	**629·3**	IX, 2
Normalversuch	—	—	—	290·0	458·5	86·2	25·3	570·0	IX, 3

(Fortsetzung.)

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten 1—5	1—10	11—20	21—30	1—30	Kurve
0. Nicotinum hydrochloric. $C_{10}H_{14}N_2 \cdot HCl$	N/17·8	1·115	18·7	64·7	145·5	142·3	99·1	386·9	X, 1
	N/178	0·1115	18·8	225·1	417·7	127·2	45·7	590·6	X, 2
Normalversuch	—	—	—	297·3	464·7	81·7	23·6	570·0	X, 3
1. Coniinbase $C_8H_{17}N$	N/178	0·0713	20·0	6·2	15·2	20·0	16·6	51·8	XI, 1
	N/356	0·036	20·4	276·9	420·6	90·1	29·4	540·1	—
	N/890	0·0146	20·7	269·0	412·2	87·6	35·1	534·9	XI, 2
	N/1780	0·0071	20·2	276·5	433·0	90·9	34·4	558·3	—
	N/3560	0·0036	21·0	302·4	463·1	89·0	27·3	569·4	XI, 3
Normalversuch	—	—	—	291·4	466·8	81·7	21·5	570·0	XI, 4
2. Coniinum hydrochloricum $C_8H_{17}N \cdot HCl$	N/17·8	0·916	20·6	53·2	183·3	232·9	96·4	512·6	XII, 1
	N/178	0·0916	20·7	274·2	421·7	100·7	37·7	560·1	XII, 2
Normalversuch	—	—	—	346·0	470·8	75·5	23·7	570·0	XII, 3
3. Morphiumbase $C_{17}H_{19}NO_3$	N/1246	0·0225	18·2	178·8	382·5	188·4	71·2	642·1	XIII, 1
	N/1780	0·0157	18·4	151·7	345·2	190·1	72·6	607·9	XIII, 2
Normalversuch	—	—	—	101·8	270·0	201·0	99·0	570·0	XIII, 3
4. Morphium hydrochloric. $C_{17}H_{19}NO_3 \cdot HCl + 3\, H_2O$	N/17·8	2·124	17·9	9·0	25·5	45·0	54·9	125·4	XIV, 1
	N/178	0·2124	18·2	81·3	211·7	169·9	90·0	471·6	XIV, 2
	N/1246	0·0303	18·0	131·9	289·3	161·4	67·0	517·7	XIV, 3
	N/1780	0·0212	18·2	146·3	315·8	155·2	63·3	534·3	XIV, 4
Normalversuch	—	—	—	178·5	360·2	152·3	57·5	570·0	XIV, 5
15. Aethylomorphium hydrochlor. (Dionin) $C_{17}H_{18}NO_2 - (O \cdot C_2H_5) \cdot HCl + H_2O$	N/17·8	2·065	18·8	40·8	108·2	141·2	120·6	369·9	XV, 1
	N/35·6	1·033	17·6	71·8	173·4	171·3	100·7	445·4	XV, 2
	N/178	0·2065	17·9	308·6	477·0	102·0	30·4	609·4	XV, 3
	N/356	0·103	18·0	310·5	455·2	99·0	34·0	588·2	XV, 4
Normalversuch	—	—	—	352·2	486·5	64·1	19·4	570·0	XV, 5

(Fortsetzung.)

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten 1—5	1—10	11—20	21—30	1—30	Kurve
16. Diazethylmorphinbase (Heroin) $C_{17}H_{17}NO$	N/398·7	0·0927	19·2	**308·5**	434·7	87·4	34·9	557·0	XVI, 1
Normalversuch	—	—	—	279·0	444·0	98·2	27·8	570·0	XVI, 2
17. Diazelmorphinhydrochlorid $C_{17}H_{17}NO \cdot (C_2H_3O_2)_2 \cdot HCl$	N/17·8	2·28	18·8	59	149·6	162·4	97·2	309·2	XVII, 1
	N/178	0·228	18·7	169·1	311·3	121·7	58·3	491·3	XVII, 2
	N/1780	0·0228	19·0	254·4	420·6	97·3	34·1	552·0	XVII, 3
Normalversuch	—	—	—	259·8	438·7	101·5	29·8	570·0	XVII, 4
18. Kokainbase $C_{17}H_{21}NO_4$	N/534	0·057	21·5	291·3	423·2	87·1	32·5	542·8	XVIII, 1
	N/1780	0·0202	21·3	**362·4**	**490·9**	**83·0**	**34·0**	**607·9**	XVIII, 2
Normalversuch	—	—	—	342·0	474·6	71·8	23·6	570·0	XVIII, 3
19. Cocainum hydrochloricum $C_{17}H_{21}NO_4 \cdot HCl$	N/17·8	1·907	21·8	203·0	343·5	127·8	51·0	522·3	XIX, 1
	N/89	0·3814	20·0	225·8	350·2	105·8	46·1	502·1	XIX, 2
	N/178	0·1907	21·5	282·0	400·8	86·8	35·0	522·6	XIX, 3
	N/356	0·0954	19·6	272·1	412·2	106·4	45·4	564·0	XIX, 4
	N/890	0·0381	19·4	250·5	396·9	113·2	44·1	554·2	—
Normalversuch	—	—	—	324·3	458·0	82·5	29·5	570·0	XIX, 5
20. Atropinbase $C_{17}H_{23}NO_3$	N/178	0·162	20·8	278·3	425·0	**107·7**	**40·1**	**572·8**	—
	N/356	0·081	20·7	264·8	400·3	**100·4**	**37·7**	538·4	XX, 1
	N/890	0·032	20·6	254·7	451·9	**103·0**	**32·2**	**587·1**	XX, 2
Normalversuch	—	—	—	296·1	454·8	87·4	27·8	570·0	XX, 3
21. Atropinum sulfuricum $(C_{17}H_{23}NO_3)_2 \cdot H_2SO_4$	N/17·8	3·801	19·8	200·8	337·2	120·6	56·0	513·8	XXI, 1
	N/178	0·38	18·9	192·6	305·0	98·1	54·3	457·4	XXI, 2
	N/356	0·19	20·9	249·4	424·5	**113·6**	**42·0**	**580·1**	XXI, 3
Normalversuch	—	—	—	273·9	439·4	97·4	33·2	570·0	XXI, 4

(Fortsetzung.)

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten 1—5	1—10	11—20	21—30	1—30	Kurve
22. Strychninbase $C_{21}H_{22}N_2O_2$	N/12786	0·0026	18·6	214·4	380·3	101·3	34·4	516·0	XXII, 1
	N/26700	0·00125	17·6	287·6	457·0	87·8	30·0	574·8	XXII, 2
Normalversuch	—	—	—	249·2	426·0	106·5	37·5	570·0	XXII, 3
23. Strychninum hydrochloric. $C_{21}H_{22}N_2O_2 \cdot HCl + 1^1/_2 H_2O$	N/35·6	1·117	18·6	63·7	146·4	170·8	120·8	438·0	XXIII, 1
	N/178	0·223	17·3	236·1	399·0	117·7	46·3	563·0	XXIII, 2
	N/890	0·0446	17·5	270·7	426·2	87·2	28·3	541·7	XXIII, 3
Normalversuch	—	—	—	275·1	449·2	91·0	29·8	570·0	XXIII, 4
24. Aconitinbase $C_{34}H_{47}NO_{11}$	N/3560	0·0114	23·3	362·0	530·6	72·5	16·4	619·5	XXIV, 1
	N/8900	0·0046	23·1	327·7	490·5	66·0	19·0	575·0	XXIV, 2
Normalversuch	—	—	—	343·3	496·9	57·5	15·6	570·0	XXIV, 3
25. Aconitinum hydrochloric. $C_{34}H_{47}NO_{11} \cdot HCl + 3(^1/_2) H_2O$	N/89	0·57	21·8	133·6	279·5	159·2	63·6	520·3	XXV, 1
	N/356	0·145	21·9	203·0	419·5	115·4	32·4	567·3	XXV, 2
Normalversuch	—	—	—	182·7	402·4	138·4	29·2	570·0	XXV, 3

Wenn wir auf die einzelnen Ergebnisse der Versuche, wie sie in der Tabelle und an den Kurven hervortreten, einen Blick werfen, so finden wir, daß im allgemeinen die freien Basen eine Tendenz zeigen, wenigstens in schwachen Konzentrationen die Katalasewirkung zu verstärken, während die Alkaloidsalze das meistens nicht tun, sondern je nach der Stärke der Lösung den Prozeß hemmen.

1. Das Pyridin wirkt an und für sich nicht katalytisch. Es hat anfangs einen kräftig stimulierenden Effekt entfaltet — sogar in starken Lösungen (4·4 bis 0·4prozent.). Schon während der ersten Minute steigen die Kurven sehr steil empor. Ein Optimum liegt bei N/18 (0·44prozent.), wo die höchsten Werte während der ersten 5 und 10 Minuten herausgekommen sind. Nach diesem anfänglichen Anspornen des Enzymprozesses tritt aber eine Abschwächung und Erschöpfung desselben hervor, so daß die Teilstrichzahlen während der ganzen Observationszeit (jedesmal 30 Minuten) meistens etwas herabgesetzt ist. Nur

bei der erwähnten optimalen Konzentration hat diese Zahl den Normalwert (570) ein wenig überschritten.

2. Die Chinolinbase in gesättigter wässeriger Lösung — die Chinolinflüssigkeit wurde mit destilliertem Wasser gründlich geschüttelt und das chinolinhaltige, alkalisch reagierende Wasser nachher zum Versuche benutzt — setzt den Enzymprozeß etwas herab und verzögert sie einigermaßen. Von einer anfänglichen Steigerung wie mit dem Pyridin ist hier nichts zu sehen. Die Abschwächung des Prozesses während der ersten 12 Minuten wird nachher durch eine mäßige Beschleunigung zum Teil kompensiert.

Weiter habe ich den Einfluß einiger Muskelgifte, nämlich des Chinins, des Veratrins und des Koffeins, auf den Katalaseprozeß untersucht. Die Vermutung, daß diese Substanzen eine mehr auffallende Wirkung auf die Muskelkatalase ausüben sollten, hat sich nicht bestätigt. Die Katalase hat wohl wahrscheinlich mit der Muskelfunktion nichts besonderes zu tun.

3. Chininbase. Das benutzte Präparat zeigte den Schmelzpunkt 160° C., war also vermutlich kristallwasserfrei, aber nicht völlig rein; die wasserfreie kristallinische Base soll den Schmelzpunkt 172° C. haben, die kristallwasserhaltige dagegen 57° C. Die Löslichkeit des Präparates war eine sehr geringe. Durch Verdampfung einer gewogenen Menge der gesättigten Lösung und Wägung des Trockenrückstandes wurde die Konzentration der Lösung zu 1 : 4115 — d. h. 0·0243 Proz. oder etwa N/1333 — bestimmt. Nach Verdünnung mit Muskelextrakt und H_2O_2 ist die Stärke der Lösung nur 0·0137 Proz. (N/2373). Die Lösung schmeckte recht stark bitter und reagierte auf Lackmus deutlich alkalisch.

Wie der Versuch zeigt, wirkt die Chininbase in schwacher Konzentration (nahe 0·014 Proz. — die stärkste darstellbare Lösung) anfangs recht kräftig stimulierend; nach den ersten 10 Minuten fallen die Chinin- und die Normalkurven (Kurve III, 1 und 2) miteinander nahezu vollständig zusammen. Die Teilstrichzahl des Chininversuches (612) übertrifft doch recht bedeutend den Normalwert (570).

4. Das Chininum hydrochloricum hat eine durchweg deprimierende Wirkung und setzt, besonders anfangs, je nach der Konzentration, die Enzymwirkung recht stark herab. Nach etwa 10 bis 12 Minuten schneiden sich die Kurven (IV, 1 bis 4) wieder, und eine gewisse Kompensation der früheren Depression tritt ein, wodurch bei 0·225 und 0·04 Proz. etwa dieselben totalen Teilstrichwerte herauskommen.

5. Chininum hydrobromicum zeigt sehr ähnliche Verhältnisse (Kurve V, 1 bis 3).

6. Veratrina, das Präparat der schwedischen Pharmakopoe, das mehrere Basen aus den Sabadillsamen enthält, wurde mit destilliertem Wasser digeriert und aufgekocht, das ungelöste abfiltriert, die Konzentration der alkalisch reagierenden Lösung direkt durch Wägung bestimmt (0·037 Proz.). Es ruft in schwacher Konzentration (etwa 0·028 Proz.) anfangs eine gewisse Steigerung des Enzymprozesses hervor (Kurve VI, 1 und 2). Während der ersten 5 und 10 Minuten sind die Teilstrichwerte 231 bzw. 419 statt 210 und 394 im Normalversuche herausgekommen; auch der Gesamtwert des Veratrinversuches ist etwas erhöht — von 570 bis 584.

7. Das Veratrinum (Cevadinum?) hydrochloricum Merck, ein kristallinisches Salz, zeigt ganz denselben Wirkungstypus wie das Chininum hydrochloricum oben (Kurve VII, 1 bis 4). Nach etwa 13 Minuten schneiden sich die Kurven nahezu in einem Punkt und die anfängliche Depression wird durch eine nachfolgende Steigerung zum Teil kompensiert. In einer Konzentration von N/178 hat das Veratrinsalz anfangs stärker deprimierend gewirkt als die Chininsalze.

8. Das Koffein hat in Lösungen von N/36 und N/178 (bzw. 0·6 und 0·12 Proz., neutral reagierend) die Katalasewirkung anfangs etwas herabgesetzt (Kurve VIII, 1 bis 3), ohne die Differenzen nachher merkbar zu kompensieren.

9. Die Nikotinbase hat in den geprüften Konzentrationen (N/18 bis N/1780) den Enzymprozeß auffallend wenig beeinflußt (Kurve IX, 1 bis 3). Doch zeigen die schwächeren Lösungen eine nicht verkennbare stimulierende Wirkung mit einer Steigerung der gesamten Teilstrichzahl von 570 bis 603 und 629, d. h. um 5·8 bis 10·3 Proz.

10. Das Nicotinum hydrochloricum wirkt in starker Lösung (N/18, d. h. 1·1 Proz., neutral reagierend), besonders anfangs, stark deprimierend; in schwächerer Konzentration (N/178, 0·1 Proz.) dagegen im ganzen eher etwas funktionssteigernd; die initiale Depression wird später etwas überkompensiert (vgl. Kurve X, 1 bis 3).

11. Die Wirkung der Coniinbase ruft in relativ starker Lösung (N/178, d. h. 0·07 Proz.) eine kräftig deprimierende Wirkung hervor; die Kurve (XI, 1) schleicht der Abszisse entlang. Die schwächeren Konzentrationen (von N/356 bis N/3560) haben dagegen zwar die Enzymwirkung etwas herabgesetzt, jedoch dieselbe im ganzen sehr wenig beeinflußt. Die schwächste der geprüften Lösungen (N/3560, 0·0036 Proz.) hat während der ersten 5 Minuten eine etwas raschere Gasentwicklung bewirkt.

12. Das Coniinum hydrochloricum (Kurve XII, 1 bis 3) wirkt durchweg deprimierend und verzögernd, um so mehr, je stärker die Lösung ist.

13. Die Morphiumbase treibt in schwachen Konzentrationen, besonders anfangs, die Katalasewirkung recht stark in die Höhe (Kurve XIII, 1 bis 3). Die stimulierende Wirkung ist unverkennbar.

14. Das Morphium hydrochloricum dagegen folgt dem gewöhnlichen Schema der Alkaloidsalze (Kurve XIV, 1 bis 5), setzt also in starker Lösung die Enzymwirkung kräftig, mit abnehmender Konzentration derselben immer weniger herab.

15. Das Aethylomorphium hydrochloricum (Dionin) setzt in stärkeren Lösungen den Katalaseprozeß recht kräftig herab, wirkt dagegen in schwachen Konzentrationen eher etwas funktionssteigernd — nicht, wie meistens, im Anfang, sondern im absteigenden Teil der betreffenden Kurven (XV, 3 und 4).

16. Mit der Diazetylmorphiumbase (in schwach alkalischer Lösung) ist nur ein einziger Versuch ausgeführt worden (Kurve XVI, 1). Der Prozeß ist anfangs beschleunigt — während der ersten 5 Minuten sind 308·5 Teilstriche herausgekommen statt 297 in dem Normalversuche. Nachher laufen die Kurven mehr parallel und die gesamte Teilstrichzahl ist etwas herabgesetzt.

17. Das Diazetylomorphium hydrochloricum wirkt dagegen während der ersten 10 Minuten durchweg herabsetzend (Kurve XVII, 1 bis 4); nachher umgekehrt, jedoch ohne die Differenzen auszugleichen. Die schwächste Konzentration hat fast keine Wirkung ausgeübt.

18. Die Kokainbase hat in einer Lösung von N/534 (0.057 Proz., neutral reagierend, mit schwach bitterem Geschmack) die Enzymwirkung anfangs mäßig herabgesetzt, in schwächster Konzentration (N/1780, d. h. 0·02 Proz.) dagegen dieselbe etwas gesteigert — vor allem während der ersten 5 Minuten. Die gesamte Teilstrichzahl ist deutlich erhöht (Kurve VIII, 2).

19. Das Cocainum hydrochloricum (neutral) wirkt durchweg und besonders anfangs deprimierend — je nach der Konzentration, doch nicht stark (Kurve XIX, 1 bis 4). Lösungen N/18 bis N/356 (1·9 bis 0·095 Proz.) haben gesamte Durchschnittszahlen zwischen 502 bis 564 gegeben.

20. Die Atropinbase, recht stark alkalisch reagierend, steht an der Grenze, funktionssteigernd zu wirken; besonders die schwächste Lösung (N/890, d. h. 0·032 Proz.) hat die Gesamtdurchschnittszahl deutlich erhöht (Kurve XX, 2). Der Gipfel und der herabsteigende Teil der Kurve 2 ist im ganzen höher als die der Normalkurve (3).

21. Das Atropinum sulfuricum setzt anfangs die Katalasewirkung mäßig oder etwas herab — je nach der Konzentration (Kurve XXI, 1 bis 3). Die schwächste der geprüften Lösungen (N/356, d. h. 0·19 Proz.) hat dagegen eher die Funktion etwas gesteigert. Die Förderung fällt auf den späteren Teil der Versuchsperiode — ist jedoch ganz unbedeutend.

22. Von der Strychninbase (neutral reagierend mit bitterem Geschmack) hat die schwächste Konzentration (N/26700, d. h. 0·00125 Proz.) anfangs die Katalasewirkung recht bedeutend gesteigert. Die Gesamtdurchschnittszahl ist jedoch kaum erhöht (vgl. Kurve XXII, 2). Die stimulierende Tendenz ist deutlich.

23. Das Strychninum hydrochloricum wirkt nach dem gewöhnlichen Typus der Alkaloidsalze (Kurve XXIII, 1 bis 3). Während die Lösung N/36 (1·1 Proz.) anfangs die Katalasewirkung stark herabsetzt und verzögert, haben die schwächeren Konzentrationen (N/178 und N/890, d. h. 0·2 und 0·04 Proz.) den Prozeß überhaupt sehr wenig beeinflußt. Bemerkenswert ist die rasche initiale Steigerung der Kurve 2 mit dem hohen Gipfel.

24. Die Aconitinbase hat in den geprüften, sehr verdünnten, schwach alkalisch reagierenden und bitter schmeckenden Lösungen den Enzymprozeß sehr wenig beeinflußt, und zwar in stimulierender Richtung (Kurve XXIV, 1 und 2). Die Lösung N/3560 (0·011 Proz.) hat die Gesamtteilstrichzahl um 8·6 Proz. gesteigert.

25. Das Aconitinum hydrochloricum schließlich hat im ganzen deprimierend gewirkt. Doch sieht man hier, daß die schwächere der untersuchten Lösungen (N/356, d. h. 0·14 Proz.) während der ersten 8 Minuten die Katalasewirkung steigert (Kurve XV, 2), um dieselbe nachher entsprechend abzuschwächen.

In den erwähnten 25 Punkten ist das Resultat der Untersuchung angegeben. Von den freien Basen haben einige, wie das Chinolin, das Coniin, das Koffein und das Diazetylmorphium, keine eigentliche stimulierende Wirkung ausgeübt. Von den salzartigen Verbindungen haben einzelne, wenn auch nur andeutungsweise, die Enzymtätigkeit gesteigert, nämlich das salzsaure Nikotin, das Aethylomorphium hydrochloricum und das Atropinsulfat. Ich stelle die steigernden Wirkungen nochmals tabellarisch zusammen, um gleichzeitig auch die dazu nötigen, meistens sehr schwachen Konzentrationen der betreffenden Lösungen hervorzuheben. (Die Gesamtteilstrichzahl der Normalversuche ist 570.)

Substanz	Molek. Konzentr.	Prozentuale Zusammensetzung	Teilstrichzahl der Minuten 1—30
1. Pyridin	$\frac{N}{17 \cdot 8}$	0·44	573·6
3. Chinin	$\frac{N}{2373}$	0·0173	612·4
6. Veratrina	—	0·0208	584·2
9. Nikotin	$\frac{N}{1780}$	0·0091	629·3
10. Nicotinum hydrochloricum	$\frac{N}{178}$	0·1115	590·6
13. Morphium	$\frac{N}{1246}$	0·0225	642·1
15. Aethylomorphium hydrochlor.	$\frac{N}{178}$	0·2065	609·4
18. Kokain	$\frac{N}{1780}$	0·0202	607·9
20. Atropin	$\frac{N}{890}$	0·032	587·1
21. Atropinum sulfuricum	$\frac{N}{356}$	0·19	580·1
22. Strychnin	$\frac{N}{26700}$	0·00125	574·8
24. Aconitin	$\frac{N}{3560}$	0·0114	619·5

Meistens macht sich die fördernde Wirkung der betreffenden Präparate besonders während der ersten 5—10 Minuten geltend. Eine solche anfängliche Steigerung des Prozesses ist auch zum Teil bei Coniin, Diazethylmorphium und Aconitinum hydrochloricum hervorgetreten, ist aber später durch Depression überkompensiert worden. Bei Nicotinum hydrochloricum, Aethylomorphium hydrochloricum, Atropin und Atropinum sulfuricum hat sich die günstige Wirkung wesentlich während des späteren Teiles der Versuchsperiode geltend gemacht.

Ein Blick auf die Tabelle oben zeigt, daß das Morphium am stärksten steigernd gewirkt hat, nachher das Nikotin, weiter das Akonitin und das Chinin usw. Im allgemeinen sind die stimulierenden Lösungen sehr schwach, zuweilen außerordentlich verdünnt, wie beim Strychnin, Akonitin, Chinin, Nikotin, Kokain und Morphin. Nach der Gesamtteilstrichzahl zu beurteilen, ist die steigernde Wirkung des Strychnins und des Pyridins eine so geringe, daß man ihr kaum irgendeine Bedeutung beimessen darf. Wenn man aber die Teilstrichzahlen der ersten 5 bzw. der ersten 10 Minuten berücksichtigt, ist der funktionserhöhende Effekt ganz unverkennbar. Das Pyridin zeigt in dieser Hinsicht einen ganz besonderen Typus: auch in starken Konzentrationen tritt schon vom ersten Moment an eine sehr rasche Zerlegung des H_2O_2 auf, die dann bald ab-

nimmt. Der Verlauf erinnert an das, was man (nach noch nicht veröffentlichten Versuchen) bei der Einwirkung von NaOH auf das System kolloidales Metall (Argent. colloidale) — Wasserstoffsuperoxyd beobachtet. Auf das System Froschmuskelkatalase — H_2O_2 wirkt das NaOH in starken Lösungen deprimierend: von einer gewissen mäßigen Konzentration an treten Erscheinungen hervor, die an diejenigen mit dem Pyridin erinnern.

Da auch alkalisch reagierende anorganische Körper, wie das NaOH und das K_2CO_3, in geeigneten Konzentrationen, wohl wahrscheinlich durch ihre alkalische Reaktion an sich, den katalytischen Prozeß fördern, ist es wohl anzunehmen, daß die stimulierende Wirkung der freien Basen, gleichfalls in geeigneten Konzentrationen, durch ihre Alkalinität an sich bedingt ist. Daß eine starke Nikotinlösung (N/18, 0·9 Proz.) deprimierend wirkt, spricht nicht dagegen. Das Chinolin und das Coniin haben fast durchweg hemmend gewirkt, so auch das Koffein (das ja nicht alkalisch reagiert), was wohl auf dem besonderen Bau dieser Körper beruhen kann. Das Kokain und das Strychnin haben in sehr schwachen Lösungen, die auf Lackmus nicht alkalisch reagierten, die Katalasewirkung gefördert. Die Flüssigkeiten könnten jedoch eine gewisse, schwache Alkalinität gehabt haben, die dazu genügte, stimulierend zu wirken. Daß gewisse salzartige Verbindungen — das salzsaure Nikotin, das Aethylmorphium hydrochloricum und das Atropinsulfat — eine gewisse Steigerung der Enzymtätigkeit hervorgebracht haben, ist oben schon hervorgehoben. Sie sind wohl, wie die übrigen untersuchten Alkaloidsalze, in Lösung dissoziiert. Warum sie dabei, ungleich den anderen Salzen, in fördernder Richtung gewirkt haben, läßt sich nicht sagen. Das hängt wohl auch von der besonderen Konstitution der betreffenden Körper ab.

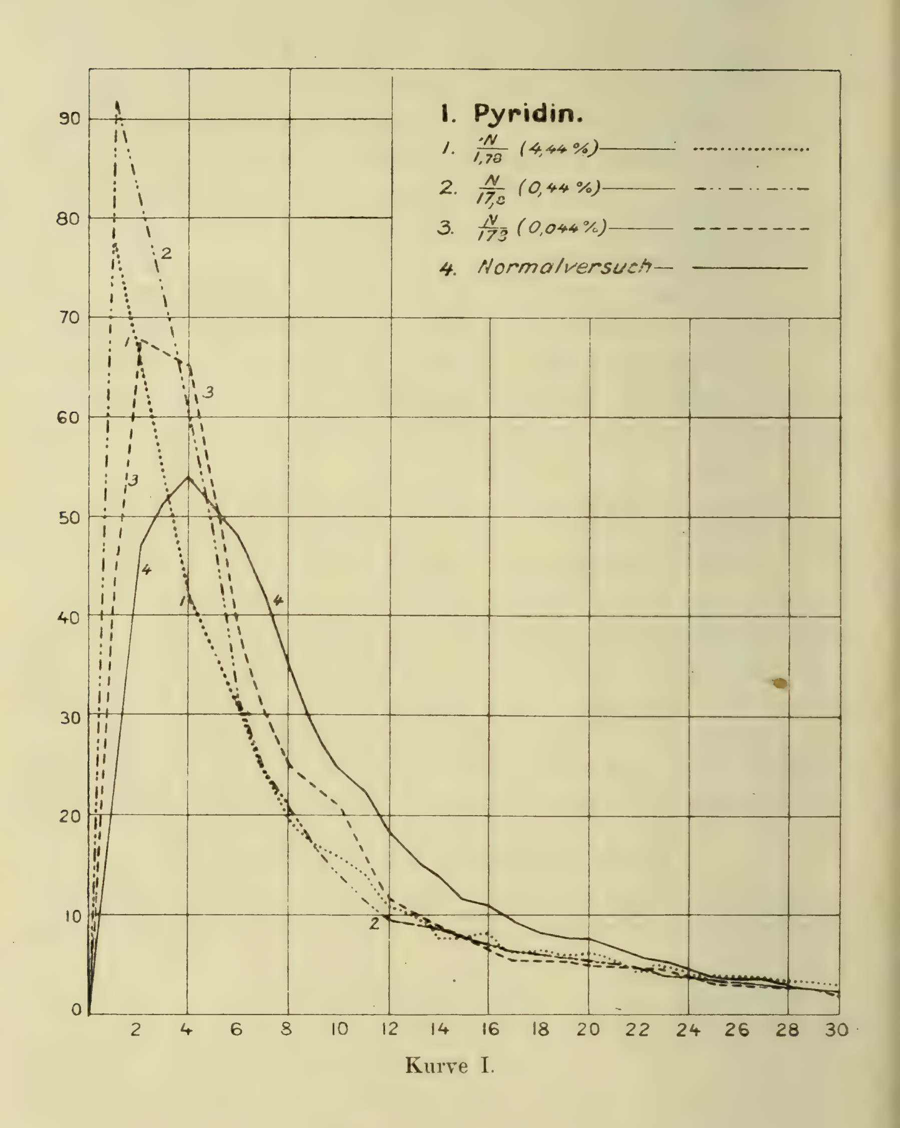
Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die Wirkung der einzelnen untersuchten Körper auf den katalytischen Prozeß (Froschmuskelkatalase — H_2O_2) geht aus den 25 Punkten S. 139 bis 143 hervor.

Die meisten freien Alkaloide haben in geeigneten, meistens sehr schwachen Konzentrationen die Katalasewirkung deutlich oder (Morphin, Nikotin, Akonitin, Chinin) sogar recht stark gefördert; auch das Pyridin hat anfangs auffallend stark stimuliert; das Chinolin, das Coniin und das Koffein dagegen kaum oder gar nicht.

Die Alkaloidsalze (hauptsächlich Hydrochloride) haben meistens hemmend gewirkt; nur beim salzsauren Nikotin, Aethylomorphium hydrochloricum (Dionin) und Atropinsulfat ist eine Steigerung angedeutet.

Siehe die Kurven S. 146 bis 166.



I. Pyridin.
1. N/1,78 (4,44 %)
2. N/17,8 (0,44 %)
3. N/178 (0,044 %)
4. Normalversuch
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve I.

II. Chinolin.
1. Konzentration unnbekannt
2. Normalversuch

Kurve II.

III. Chinin-Base.
1. $\frac{N}{2373}$ (0,0137 %)
2. Normalversuch

Kurve III.

Kurve IV.

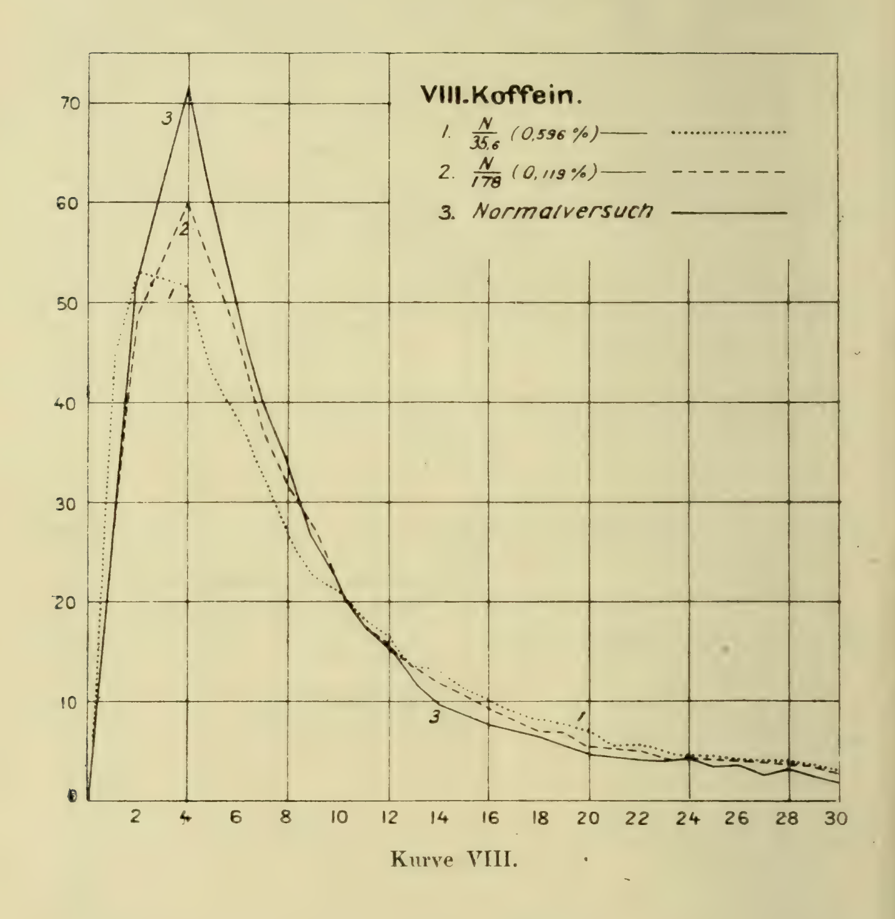
Kurve V.

VI. Veratrina.
1. 0,028 % ——— - - - - - - -
2. Normalversuch ———

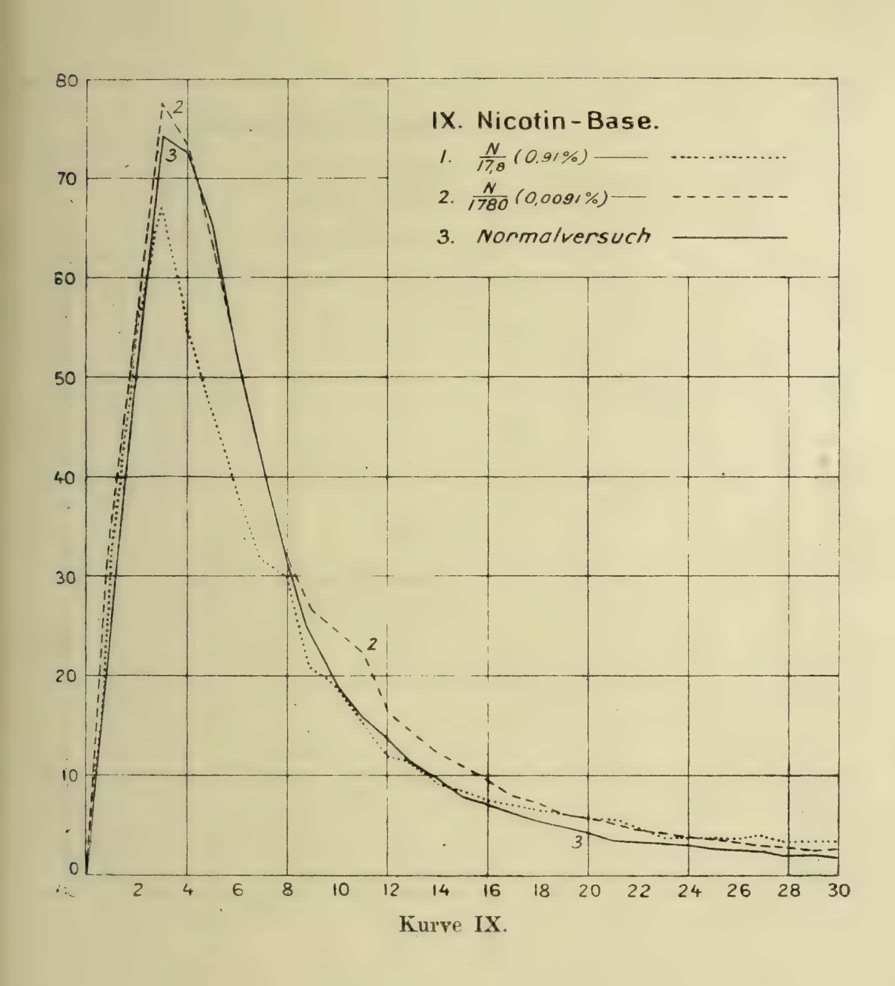
Kurve VI.

VII. Cevadin. hydrochlor.
1. $\frac{N}{17,8}$ (3,53 %) ——— ··········
2. $\frac{N}{178}$ (0,353 %) ——— - - - - - -
3. $\frac{N}{1780}$ (0,0353 %) ——— -··-··-
4. Normalversuch ———

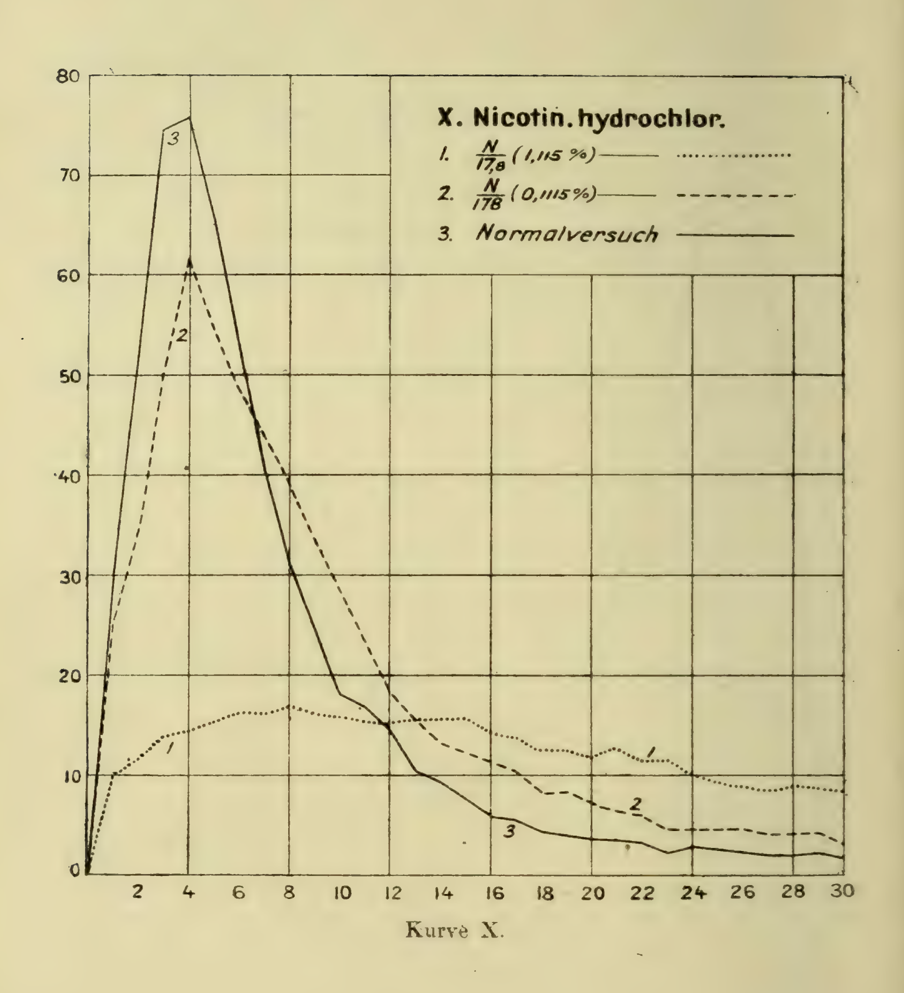
Kurve VII.


VIII. Koffein.
1. N/35,6 (0,596 %)
2. N/178 (0,119 %)
3. Normalversuch
70
60
50
40
30
20
10
0
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

Kurve VIII.

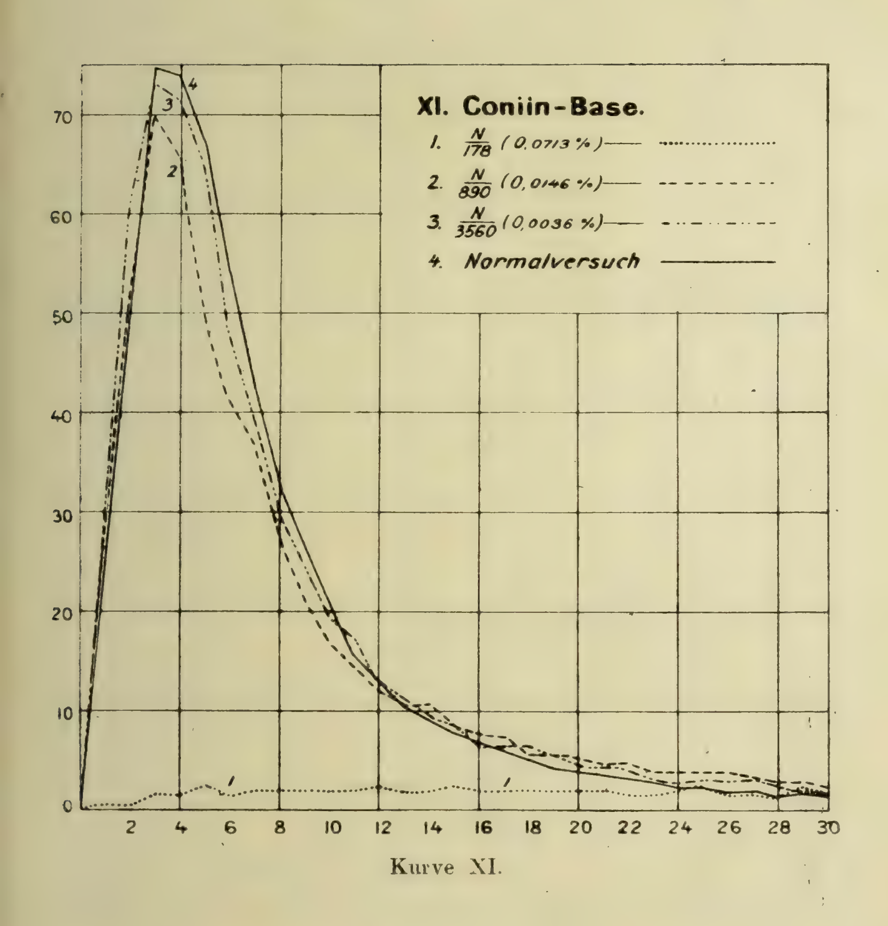

IX. Nicotin-Base.
1. $\frac{N}{17,8}$ (0,91%)
2. $\frac{N}{1780}$ (0,0091%)
3. Normalversuch
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve IX.

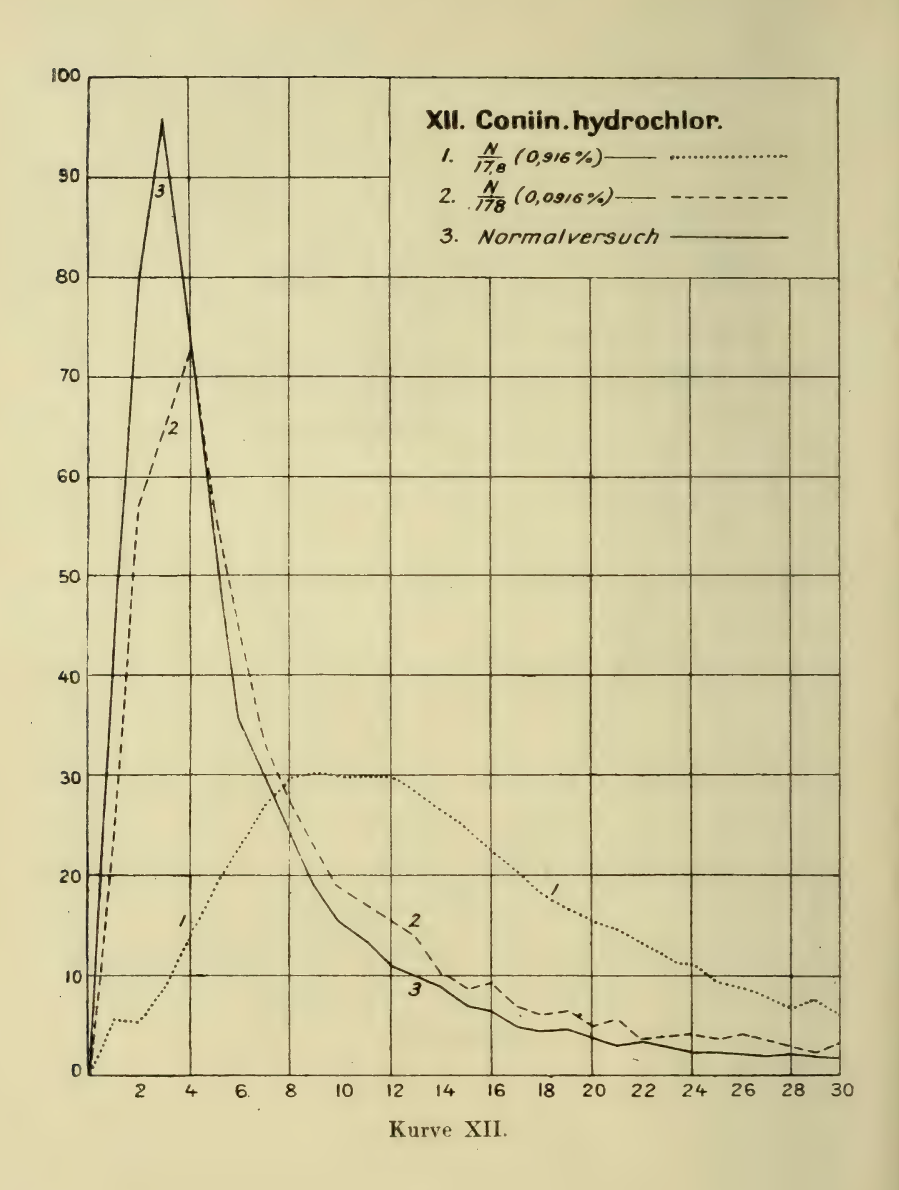


X. Nicotin. hydrochlor.
1. N/17,8 (1,115 %)
2. N/178 (0,1115 %)
3. Normalversuch
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve X.


XI. Coniin-Base.
1. N/178 (0,0713 %)
2. N/890 (0,0146 %)
3. N/3560 (0,0036 %)
4. Normalversuch
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve XI.



XII. Coniin. hydrochlor.
1. N/17,8 (0,916 %)
2. N/178 (0,0916 %)
3. Normalversuch
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

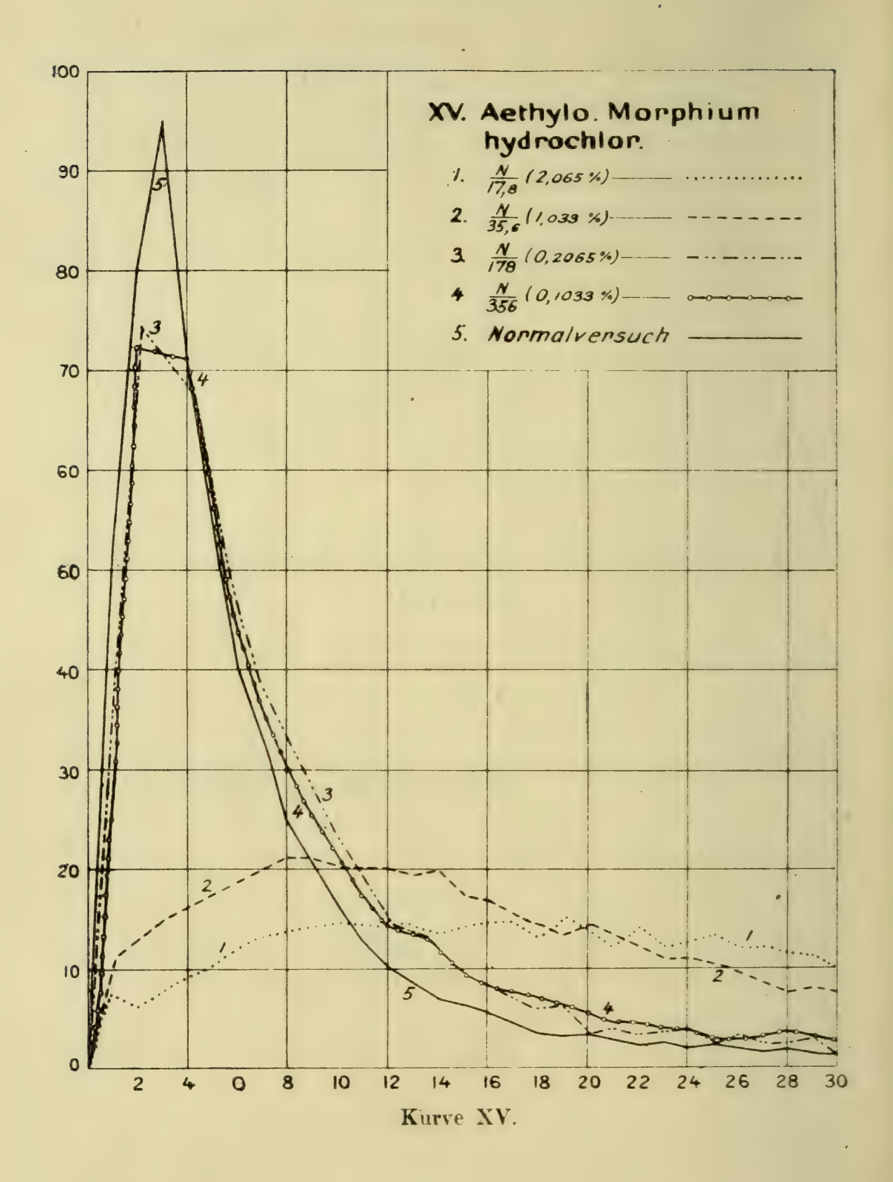
Kurve XII.

XIII. Morphium-Base.
1. $\frac{N}{1246}$ (0,0225%)
2. $\frac{N}{1780}$ (0,0157%)
3. Normalversuch

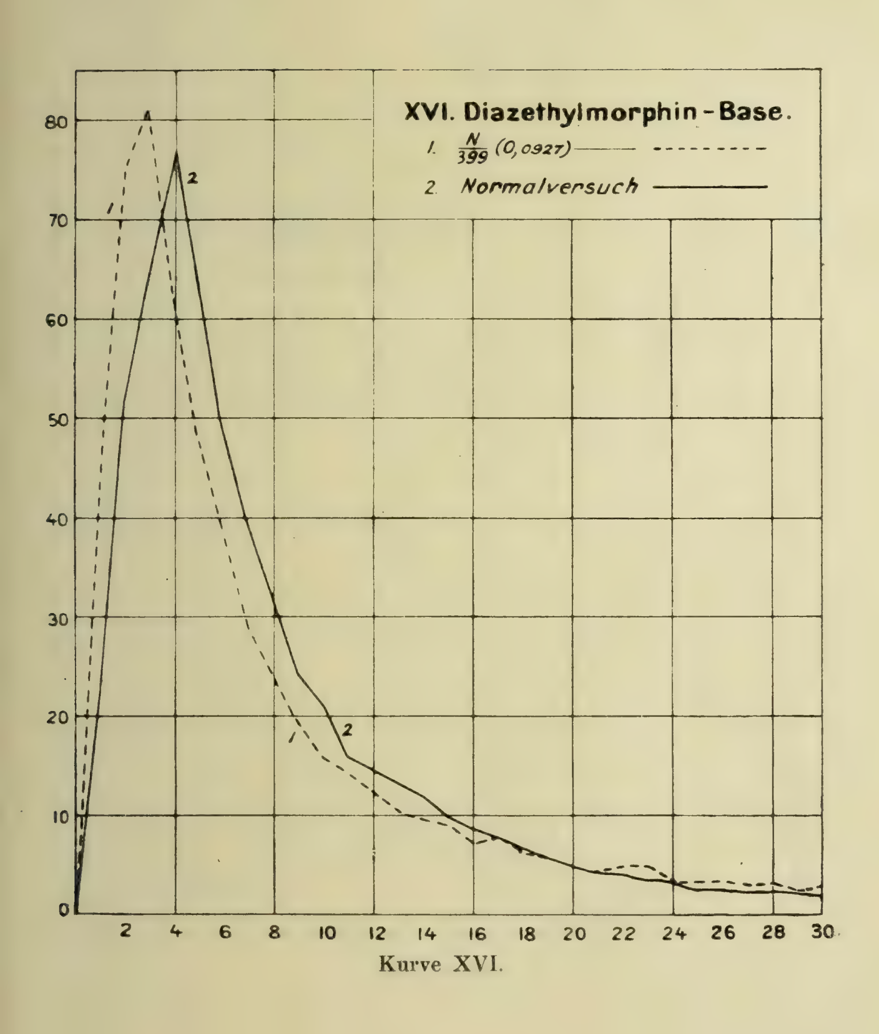
Kurve XIII.

XIV. Morphium hydrochlor.
1. $\frac{N}{17,8}$ (2,124%)
2. $\frac{N}{178}$ (0,212%)
3. $\frac{N}{1246}$ (0,0303%)
4. $\frac{N}{1780}$ (0,0212%)
5. Normalversuch

Kurve XIV.

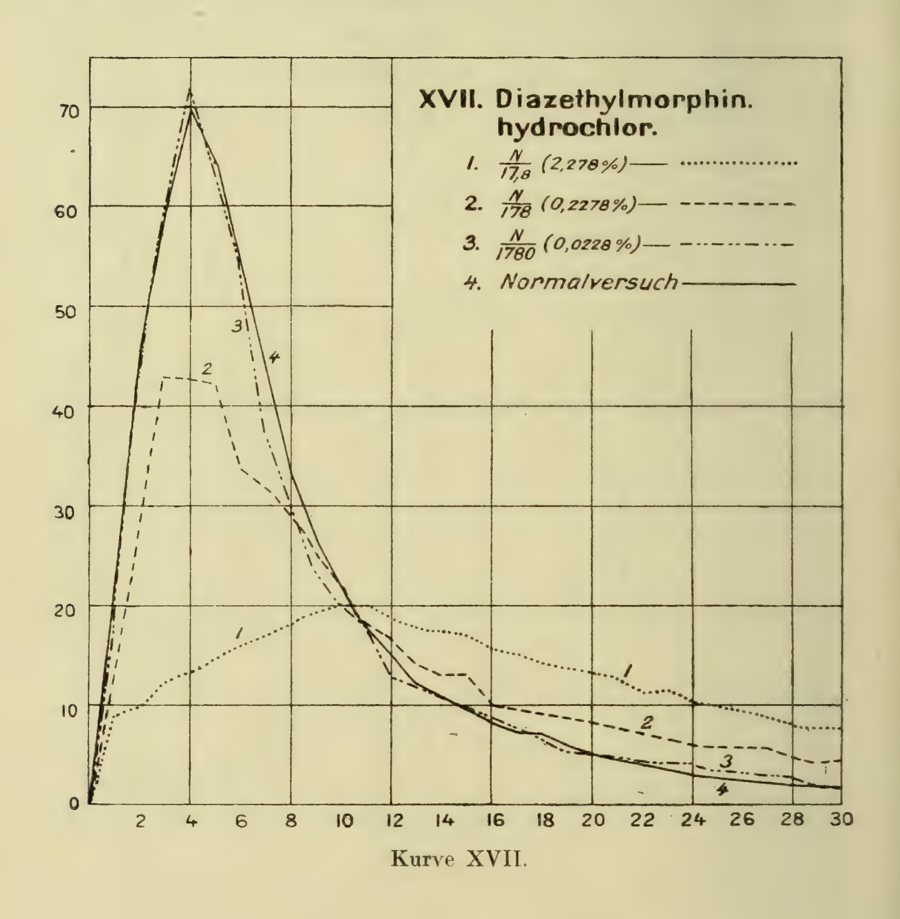

XV. Aethylo. Morphium hydrochlor.
1. N/17,8 (2,065 %)
2. N/35,6 (1,033 %)
3. N/178 (0,2065 %)
4. N/356 (0,1033 %)
5. Normalversuch
100
90
80
70
60
60
40
30
20
10
0
2
4
0
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve XV.

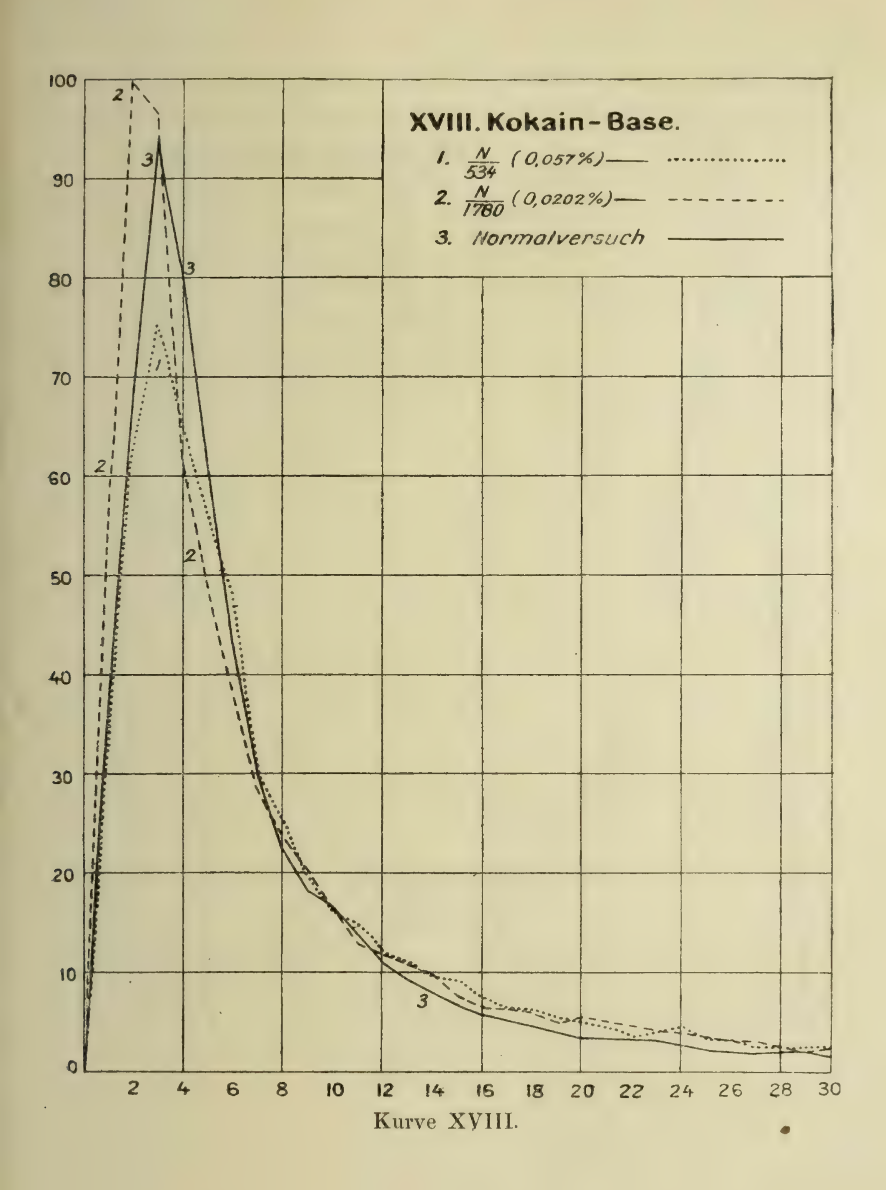


XVI. Diazethylmorphin-Base.
1. N/399 (0,0927)
2. Normalversuch
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

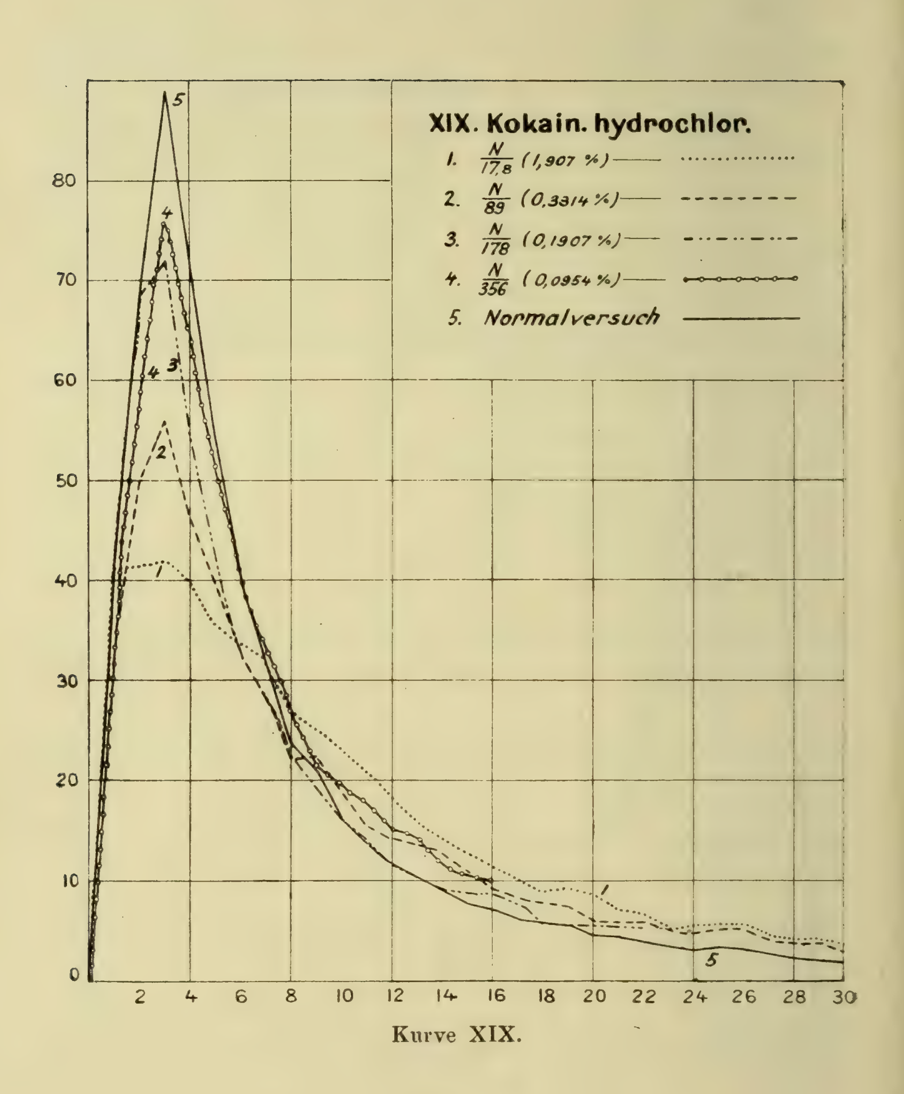
Kurve XVI.


XVII. Diazethylmorphin. hydrochlor.
1. N/17,8 (2,278%)
2. N/178 (0,2278%)
3. N/1780 (0,0228%)
4. Normalversuch
0
10
20
30
40
50
60
70
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

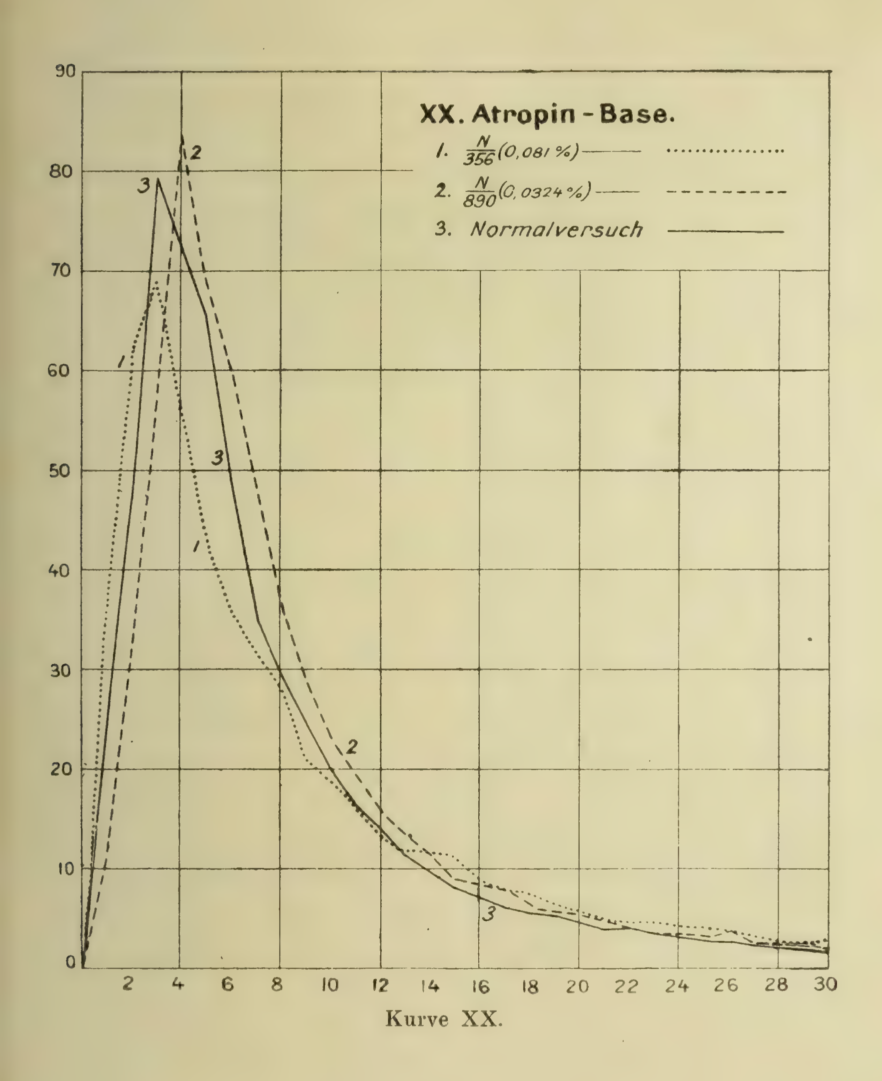
Kurve XVII.


XVIII. Kokain-Base.
1. N/534 (0,057%)
2. N/1780 (0,0202%)
3. Normalversuch
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

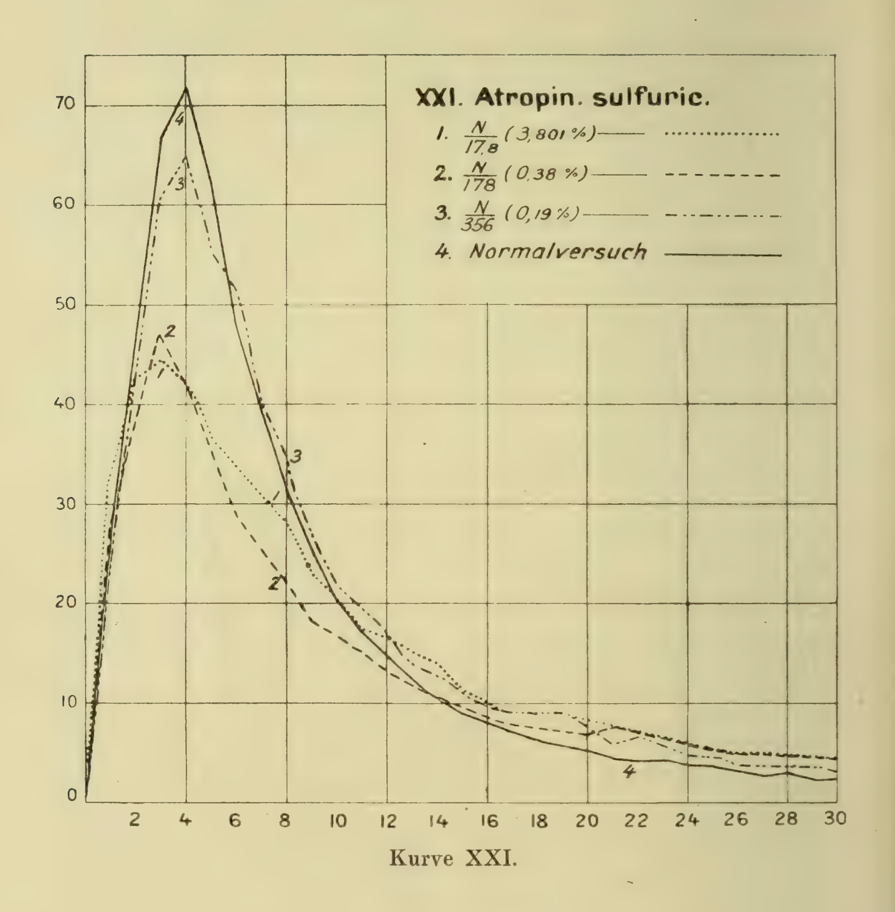
Kurve XVIII.


XIX. Kokain. hydrochlor.
1. N/17,8 (1,907 %)
2. N/89 (0,3314 %)
3. N/178 (0,1907 %)
4. N/356 (0,0954 %)
5. Normalversuch
0
10
20
30
40
50
60
70
80
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

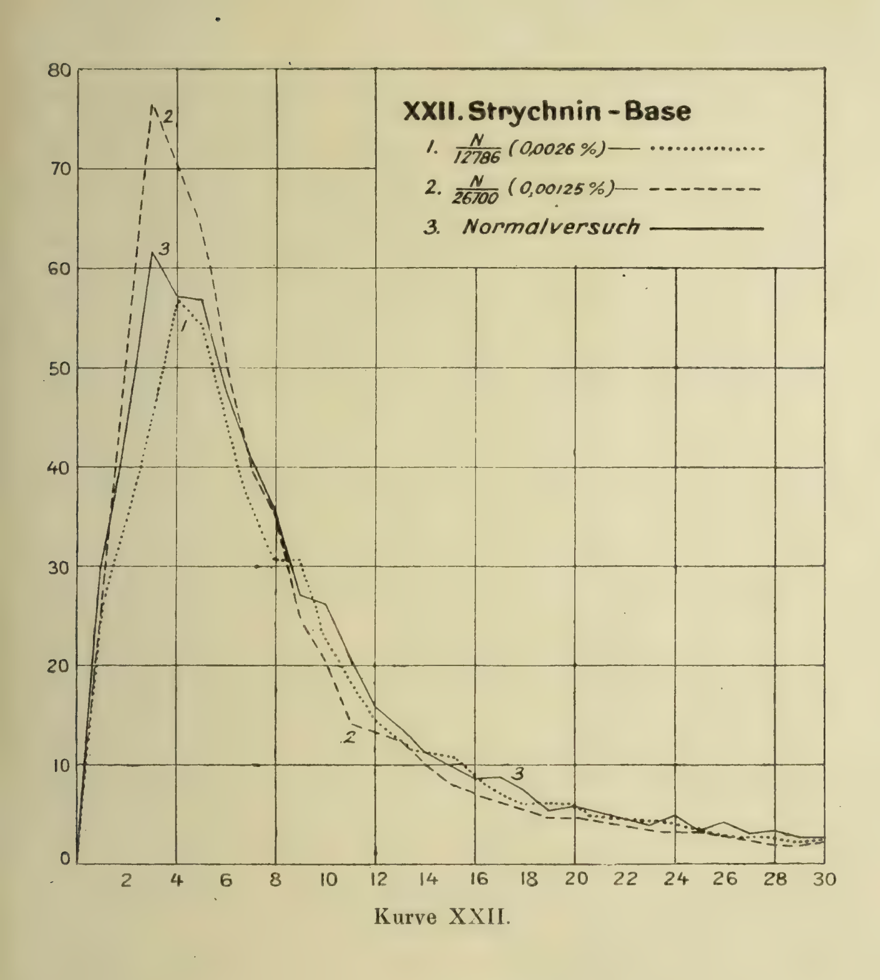
Kurve XIX.


XX. Atropin-Base.
1. N/356 (0,081 %) ....
2. N/890 (0,0324 %) ---------
3. Normalversuch ————
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

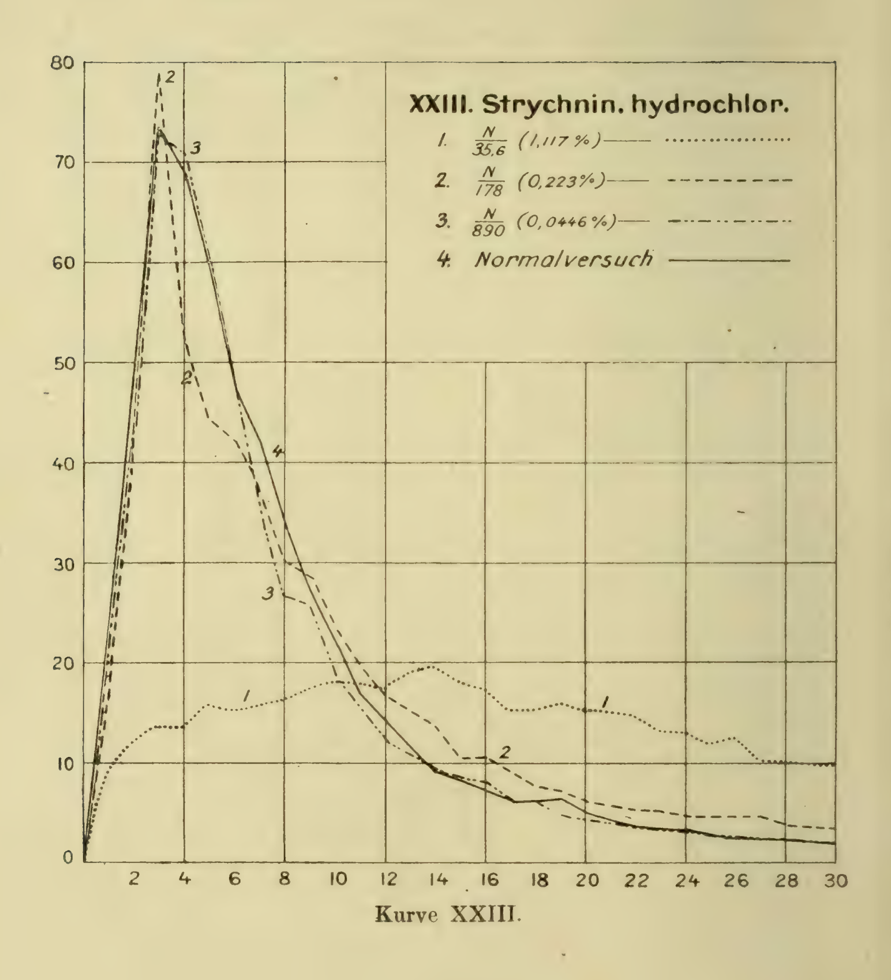
Kurve XX.


XXI. Atropin. sulfuric.
1. N/17,8 (3,801 %)
2. N/178 (0,38 %)
3. N/356 (0,19 %)
4. Normalversuch
0
10
20
30
40
50
60
70
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

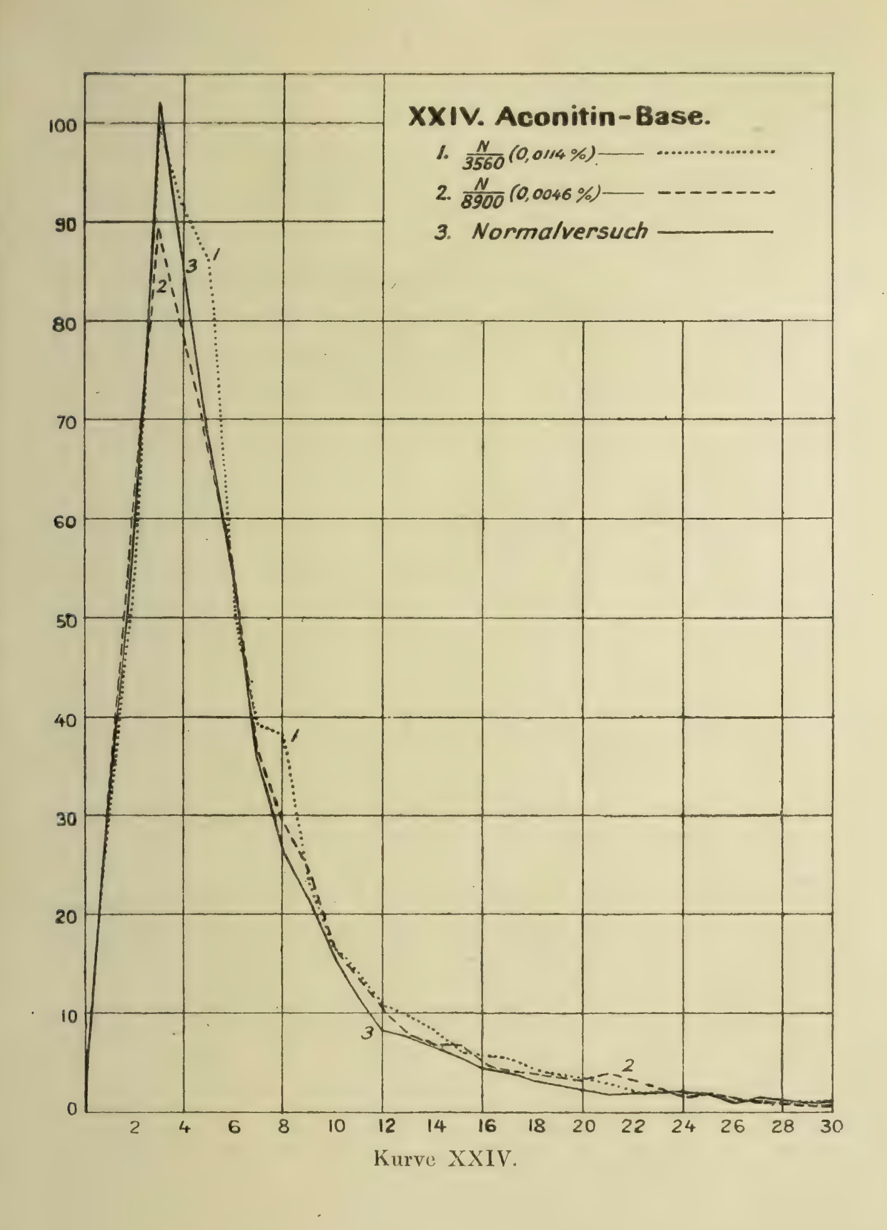
Kurve XXI.


XXII. Strychnin - Base
1. N/12786 (0,0026 %) — ....
2. N/26700 (0,00125 %) — --------
3. Normalversuch ————
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve XXII.

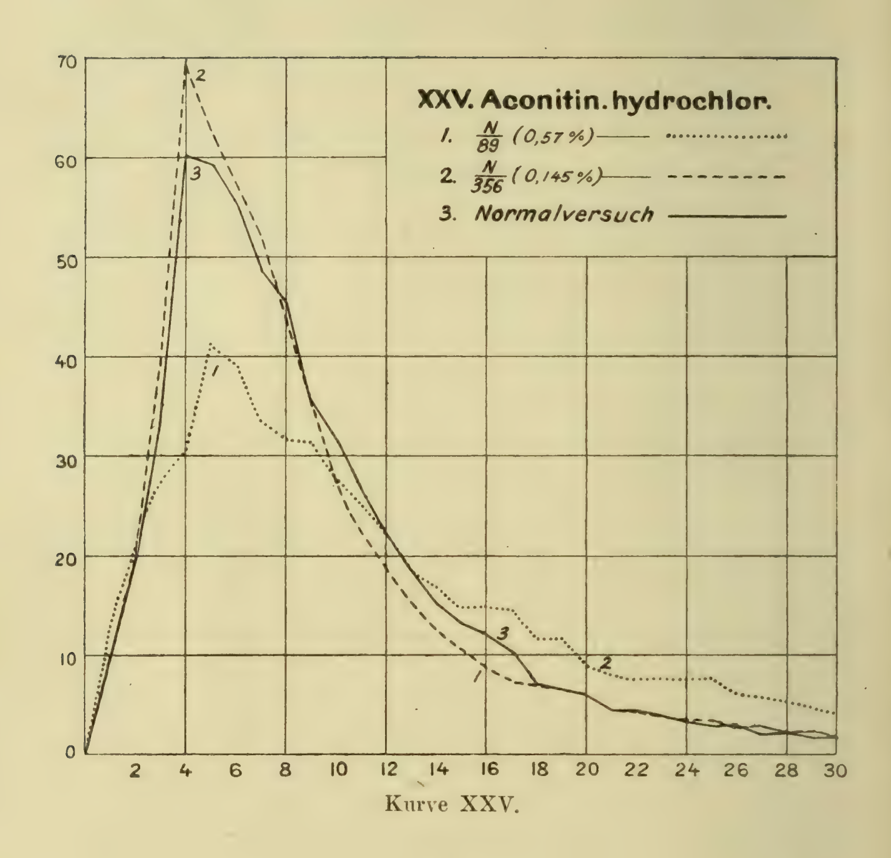

XXIII. Strychnin. hydrochlor.
1. N/35,6 (1,117 %)
2. N/178 (0,223 %)
3. N/890 (0,0446 %)
4. Normalversuch
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30

Kurve XXIII.



XXIV. Aconitin-Base.
1. N/3560 (0,0114 %)
2. N/8900 (0,0046 %)
3. Normalversuch
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
1
2
3

Kurve XXIV.


XXV. Aconitin. hydrochlor.
1. N/89 (0,57 %)
2. N/356 (0,145 %)
3. Normalversuch
70
60
50
40
30
20
10
0
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

Kurve XXV.

Respirationsversuche beim Gehen, Laufen, Ski- und Schlittschuhlaufen.[1]

Von

G. Liljestrand und **N. Stenström.**

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Karolinischen mediko-chirurgischen Instituts Stockholm.)

Inhaltsverzeichnis:

Kapitel 1.

Methodik.

Die folgenden Respirationsversuche bei einigen verschiedenen Körperübungen schließen sich früher publizierten Untersuchungen beim Schwimmen[2] an. Die Prinzipien bei der Anordnung der Versuche sind vollkommen dieselben wie damals; die geänderten Verhältnisse bei den hier mitzuteilenden Versuchen haben aber natürlicherweise einige kleine Änderungen verursacht, die im folgenden erwähnt werden.

Versuche über den Ruhewert des respiratorischen Gaswechsels wurden sowohl beim Liegen wie beim Stehen ausgeführt. Nach einer Vorperiode von wenigstens 30 Minuten, während der die Versuchsperson, mit Maske, bzw. Mundstück und Nasenklemme versehen, in einem Stuhl bequem zurückgelehnt saß, wurden in dieser Stellung einige Versuche ausgeführt. Wenn nun auch Versuche beim Stehen wünschenswert waren, wurde der Versuchsperson vom Versuchsleiter geholfen, mit möglichst geringer Anstrengung aufzustehen, und sie nahm dann eine etwas breitspurige stehende Stellung und schlaffe Haltung ein. Die Schlauchleitungen von und zu dem Ventil (Har-

[1] Der Redaktion am 6. November 1919 zugegangen.

[2] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 1.

monikaschlauch) wurden an einem Stativ fixiert, damit sie das Ventil nicht unnötig beschweren sollten, jedoch so, daß die freie Beweglichkeit der Versuchsperson nicht behindert wurde. Nach einer Vorperiode von 5—7 Minuten in dieser Stellung kamen die Versuche daselbst. In einer weiteren Versuchsreihe an N. S. wurde später stramme Haltung eingenommen, so daß die Versuchsperson insgesamt beinahe 30 Minuten stehen mußte. Bei den Versuchen wurden Mischungsbehälter und trockene Gasuhr gebraucht (vgl. [1]).

Bei den Arbeitsversuchen kam auch jetzt Douglas' Respirationsapparat zur Verwendung. Die Versuchsperson trug den Sack auf dem Rücken; er war durch Leitung von weitem Harmonikaschlauch mit dem zugehörigen Ventil und Mundstück vereinigt. Die Schlauchleitung hatte eine Länge von etwa 2 m, und in derselben befanden sich zwei Dreiweghähne, der eine unmittelbar beim Sack, der andere, etwa 1 m davon, war an einem Gurt fixiert, der um die Taille der Versuchsperson lief; von da aus ging der Schlauch weiter zum Ventil. Der am Gurt befestigte Hahn war bequem zu erreichen und zu drehen, auch von der Versuchsperson selbst, wodurch also der Zufluß zum Sack schnell geöffnet oder abgebrochen werden konnte. Der Hahn in der Nähe des Sackes kommt in den Nacken der Versuchsperson und wird deshalb schwer erreichbar; es ist indessen von Vorteil, ihn zu behalten, um dadurch die schnelle Wegnahme und Entleerung des Sackes zu erleichtern. Dieser Hahn nebst den zugehörigen Leitungen wurde in geeigneter Weise (mit einer festsitzenden Haube) befestigt. Nachdem die Leitung zwischen den beiden Hähnen mit Exspirationsluft gespült worden war, wurden sie so gedreht, daß ein einfacher Griff des am Gurt befestigten Hahnes den Weg zum Sack eröffnete.

Beim Skilaufen, wo die beiden Hände der Versuchsperson zum Manövrieren der Stöcke gebraucht wurden, wurde der Hahn vom Versuchsleiter an der vorbeilaufenden Versuchsperson gedreht und die Stoppuhr gleichzeitig in Gang gesetzt; der Versuchsleiter lief dann zum Endpunkt der Bahn und konnte dann am Ende des Versuchs den Hahn zurückdrehen und die Stoppuhr hemmen. Bei den Versuchen mit Schlittschuhlaufen, Gehen und Laufen dagegen drehte die Versuchsperson selbst den Hahn, beim Gehen und Laufen besorgte sie auch die Zeitbestimmung. Die Umdrehung des Hahnes geschah immer am Ende einer Exspiration. Die Zahl der Atemzüge wurde von der Versuchsperson gerechnet, die Schritte dagegen vom Versuchsleiter.

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S 5.

Sämtliche in dieser Arbeit angeführten Respirationsversuche wurden am Morgen in nüchternem Zustande (wenigstens 8 Stunden nach der nächstvorhergehenden Mahlzeit) ausgeführt.

Betreffs näherer Umstände bei den verschiedenen Versuchen mag noch folgendes erwähnt werden.

Sämtliche Versuche wurden an horizontaler Bahn von ausgezeichneter Beschaffenheit ausgeführt. Beim Gehen, Laufen und Schlittschuhlaufen hatten wir den Vorteil, die Bahnen im Stockholmer Stadion benutzen zu können. Diese haben die wohlbekannte ovale Form und sind durch Galerien gegen schwachen Wind gut geschützt. Für den eigentlichen Versuch wurde beim Gehen und Laufen eine Strecke von 100 m gebraucht, die an der einen Längsseite lag, beim Schlittschuhlaufen dagegen ein ganzer Umlauf (380 m). Dazu kam regelmäßig als Vorperiode eine wechselnde Strecke von ganz derselben Beschaffenheit. Beim Skilaufen benutzten wir eine Bahn von 132 m auf dem Eise des Brunnsviken in der Nähe von Stockholm. Das Skilaufen geschah dann immer in einer geradlinigen, gut aufgegangenen Spur; während der Vorperiode lief die Versuchsperson eine Strecke von 150 m hin und zurück (d. h. insgesamt 300 m). Bei den Versuchen mit Skilaufen wurde der Douglassack im Freien entleert; zu diesem Zweck war ein Brett an dem Stoßschlitten festgemacht worden, der beim Transport der Instrumente gebraucht wurde.

Vor den Versuchen kam immer eine Vorperiode mit möglichst gleicher Arbeit wie während des eigentlichen Versuchs. Diese Vorperiode hat in verschiedenen Fällen eine verschiedene Dauer gehabt. Da es aber von der größten Bedeutung ist, daß die betreffende Periode nicht zu kurz ist, werden in dieser Arbeit keine Versuche — mit Ausnahme für den speziellen Zweck, S. 171 — mitgeteilt, wo die Vorperiode nicht wenigstens etwa 1 Minute mit derselben Leistung wie im Versuche selbst gedauert hat. In vielen Fällen ist sie auch bei den größten Geschwindigkeiten wesentlich länger gewesen. Beim Skilauf dürfte sie für alle Versuchspersonen selten weniger als 2 Minuten betragen haben. Für E. S. ist auch in beinahe sämtlichen Versuchen mit Laufen die Vorperiode etwa 2 Minuten gewesen. In Fällen, wo die Anstrengung ziemlich unbedeutend gewesen ist, wie beim Gehen, ist die Vorperiode in der Regel wesentlich länger.

Die Versuchszeit ist bei den Ruheversuchen gewöhnlich 5 Minuten gewesen, bisweilen (beim Stehen) auch 4 Minuten. Beim Gehen dauerten die Versuche in ein paar Fällen etwa 4 Minuten (Bahn von 400 m),

im übrigen ist ja die Versuchszeit wesentlich kürzer gewesen und hat umgekehrt zur Geschwindigkeit variiert. Die kürzeste Versuchszeit beläuft sich auf etwa 0·34 Minuten. (In den Tabellen werden die Zeiten abgerundet mitgeteilt.)

Sämtliche Versuche wurden bei ruhigem Wetter ausgeführt, da offenbar die Anwesenheit von Wind die Ergebnisse wesentlich beeinflussen muß.

Die Versuche erstreckten sich über einen wesentlichen Teil des Jahres 1918. Während Januar und Februar wurden die Versuche mit Ski- und Schlittschuhlaufen, während Mai diejenigen mit Gehen und Laufen und während September und Oktober abermals mit Laufen ausgeführt. Ruheversuche wurden für die verschiedenen Perioden ausgeführt.

Weitere Angaben, wie betreffs Änderungen der Beschaffenheit des Schnees, sind bei den Schilderungen der verschiedenen Versuche gemacht. Fehlerquellen und Genauigkeit wurden in der zitierten Arbeit ausführlich diskutiert. In einigen Hinsichten dürften jedoch Zusätze wünschenswert sein.

Die Lufttemperatur hat während der Zeit unserer Versuche sehr erhebliche Schwankungen gezeigt, nämlich zwischen -15^{0} und $+20^{0}$. Vor allem die niedrigen Temperaturen (beim Skilauf) nötigten zu einer besonderen Prüfung der Gasuhr, die ja in diesen Versuchen in der freien Luft gebraucht wurde. Bei der Prüfung wurde der Sack mit einem bekannten, im Spirometer gemessenen Luftvolumen gefüllt; Sack mit Luft sowie Gasuhr standen dann im Freien, bis sie die betreffende Temperatur angenommen hatten. (Durch besondere Kontrollversuche wurde die Möglichkeit eines meßbaren Verlustes durch die Wände des Sackes ausgeschlossen.) Die Luft wurde dann durch die Gasuhr getrieben. Dabei zeigte es sich notwendig, eine Temperaturkorrektion für die Kapazität der Gasuhr einzuführen, indem diese bei niedriger Temperatur sich etwas kleiner herausstellte, so daß eine Temperatursenkung von 1^{0} von einer Verminderung der Gasuhrkapazität um etwa 0·1 Proz. begleitet war.

Bei den niedrigen Temperaturen zeigte das Kondenswasser in den Ventilen eine starke Neigung zum Gefrieren, wodurch die Klappen verlötet wurden; dies konnte aber vermieden werden, wenn die Versuchsperson während Vorperiode und Versuch wie zwischen den Versuchen ununterbrochen durch das Ventil atmete. Auch war der Sack bei den niedrigen Temperaturen steif und schwierig zu hantieren; eine eigentliche Fehlerquelle war dies ja nicht. (Eine Änderung des schäd-

lichen Raumes des Sackes während der Versuche dürfte kaum hierbei eintreten können, da die Abkühlung schon am Anfang der Versuchsreihe vollständig war.)

Betreffs der Länge der Vorperiode fanden wir beim Schwimmen[1] etwa 1 Minute genügend bei den kräftigsten Anstrengungen. (Außerdem kam während einiger Zeit mäßige Arbeit.) Im allgemeinen dürfte zu erwarten sein, daß eine längere Vorperiode nötig wird, je größer der Umsatz ist, damit ein stationärer Zustand eintreten soll. Da nun aber der Umsatz in den hier mitzuteilenden Versuchen oft wesentlich größer als bei maximaler Schwimmarbeit ist, entsteht offenbar die Frage, ob eine Vorperiode von 1 Minute wirklich in allen Fällen genügend ist, d. h. während der gegebenen Verhältnisse, also ohne daß die Versuchsperson sich besonders bemüht, im voraus ruhig zu sein. Da diese Frage natürlich von großer Bedeutung ist, haben wir sie näher untersucht, indem wir in zahlreichen Versuchen die Vorperiode in ziemlich weiten Grenzen variiert haben. Solche Versuche wurden während Gehen und Laufen mit verschiedenen Geschwindigkeiten sowohl mit G. L. wie mit N. S. ausgeführt. Sämtliche dieser Reihen führten übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß die erwähnte Vorperiode auch bei den höchsten Geschwindigkeiten, die wir gebraucht haben, genügend gewesen ist. Als Beispiel teilen wir eine Reihe mit, wo N. S. mit einer Geschwindigkeit von 232—247 m gelaufen war und wo die Anforderungen folglich mit großer Wahrscheinlichkeit besonders stark gewesen sind.

Tabelle 1.
Respirationsversuche während schnellen Laufens mit wechselnder Vorperiode.
Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Vorperiode Min.	Weg m pro Min.	O_2-Verbrauch ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m ccm
30./5.	87·2	0·4	245·7	2832	0·70	0·121
16./9.	80·7	0·4	246·9	2846	0·79	0·131
30./5.	87·2	G* +0·6	238·1	3127	0·79	0·139
30./5.	87·2	G* +0·6	243·9	3095	0·83	0·134
16./9.	80·7	0·8	241·0	3334	1·10	0·167
16./9.	80·7	1·0	245·7	3342	0·90	0·157
17./9.	80·7	1·3	232·6	3393	0·95	0·169
19./9.	81·7	1·9	235·3	3206	1·11	0·155
25·9	81·1	2·2	232·6	3504	1·01	0·174
25./9.	81·1	2·2	233·6	3314	1·01	0·163

* Vor dem Laufen kam hier schnelles Gehen (G.) während etwa 1·1 Min.

[1] A. a. O. S. 8.

Wie man findet, zeigen die Versuche mit einer Vorperiode kleiner als 0·8 Minuten entschieden niedrigere Werte als die übrigen. Dagegen muß eine Vorperiode von 0·8 Minuten oder mehr als genügend erachtet werden, da in denjenigen Versuchen, die unter diesen Verhältnissen ausgeführt wurden, keine Änderung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter nachgewiesen werden kann.

Durch den Douglassack wird zweifelsohne der Luftwiderstand der Versuchsperson gewissermaßen vermehrt. Da aber die Versuche bei ruhigem Wetter ausgeführt wurden, hat dies höchstwahrscheinlich nur sehr geringe Bedeutung gehabt.

Im folgenden sind sämtliche Volumina auf 0°, 760 mm und Trockenheit reduziert worden, wenn sie nicht ausdrücklich bei 37° angegeben werden (= 37°, 760 mm, mit Feuchtigkeit gesättigt).

Kapitel 2.

Versuchspersonen und Ruheversuche.

Unsere Versuche wurden an drei männlichen Versuchspersonen ausgeführt, von denen wir die folgenden Angaben liefern:

Versuchsperson	Gewicht mit Kleidern u. Gepäck (abgerund. Mittel in kg)			
	beim Gehen	beim Laufen	beim Skilaufen	beim Schlittschuhlaufen
N. S., 26 Jahre	87·5	81	100	95·5
G. L., 32 „	58	60	67	—
E. S., 21 „	—	65·5	70	70·5

N. S. ist eine kräftig gebaute, fette Person mit guten Körperkräften und guter Beweglichkeit. Er treibt allerlei Körperübungen zur Motion und ist folglich ziemlich gut trainiert. Bei Versuchen mit Laufen, die im Mai im Zusammenhange mit den Gehversuchen ausgeführt wurden, die aber wegen unzureichender Vorperiode unbrauchbar waren, vermochte er wegen eintretender Atemnot und Herzklopfen nicht, mit genügender Schnelligkeit einen Umlauf im Stadion (400 m) zu vollbringen. Im Laufe des Sommers trainierte er sich aber, so daß er bei den Versuchen im September die Anstrengung von 800 m Laufen gut vertrug (gleichzeitig war sein Körpergewicht um beinahe 7 kg gesunken). Bei der Ausführung der Versuche mit Skilaufen hatte er einige Skifahrten von etwa 20 km gemacht. Schlittschuhe war er seit dem nächstvorigen Winter kaum gelaufen.

G. L. ist ziemlich klein und schwach gebaut, mager, treibt recht wenig körperliche Übungen und war seit 2 Jahren nicht Ski gelaufen. Sein tägliches Leben ist ziemlich beweglich, mit Ausnahme von einigen kurzen Skifahrten kam keine besondere Trainierung vor den Versuchen.

E. S. ist mäßig kräftig gebaut, von Mittellänge und mit gut entwickelter Muskulatur, etwas mager. Er kann als ein guter, allseitiger Sportsmann bezeichnet werden, der seit mehreren Jahren eine ziemlich regelmäßige Trainierung treibt. Seit seinem 18. Jahre hat er jährlich die Proben für die Sportmedaille[1] geleistet und während 2 Jahren diejenigen für die Skiläufermedaille (Zurücklegung von 30 km im Gelände innerhalb $3^1/_4$ Stunden). Bei der Ausführung der Versuche war er in gutem Trainierungszustand.

Die größte Zahl der Ruheversuche wurde an N. S. ausgeführt. Sie werden in der Tab. 2 wiedergegeben.

Tabelle 2.

Ruheversuche mit N. S.

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz	Mittel des O_2-Verbrauchs	Bemerkungen
21./2.	5·0	4·45	190	248	0·76	57		
	5·0	4·51	199	249	0·80		246	Sitzend
	5·0	4·47	198	240	0·83	56		
	5·0	5·02	203	271	0·75	68		Stehend mit
	5·1	5·20	217	273	0·79		272	schlaffer
	5·0	5·30	219	271	0·81	71		Haltung
14./5.	5·1	5·12	197	256	0·77	52		
	5·0	5·09	192	236	0·81			
	5·0	5·21	198	242	0·82			
	5·0	5·22	195	247	0·79	54	241 ± 3·0	Sitzend
22./5.	5·1	5·13	194	242	0·80	49		
	5·1	4·69	186	234	0·80			
	5·1	4·75	185	235	0·79	56		
10./9.	5·1	5·30	195	223	0·88			
	5·1	5·52	208	231	0·90			
12./9.	5·1	4·95	192	216	0·89	58	221 ± 3·0	Sitzend
	5·0	4·93	192	227	0·85			
13./9.	5·0	4·86	189	211	0·90	56		
	5·1	4·74	189	218	0·87			

[1] Eine Auszeichnung, die nach einer gewissen Mindestleistung in fünf verschiedenen Sportarten verliehen wird.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz	Mittel des O_2-Verbrauchs	Bemerkungen
10./9.	5·1	5·87	204	244	0·84		240 ± 3·2	Stehend mit schlaffer Haltung
	4·1	6·04	213	253	0·84			
12./9.	5·1	5·42	191	235	0·81	75		
	4·0	5·56	198	242	0·82			
13./9.	5·1	5·26	196	231	0·85	73		
	4·1	5·23	195	236	0·83			
18./10.	5·0	5·64	202	213	0·95	59	226 ± 3·4	Sitzend
	5·0	5·63	216	225	0·96			
19./10.	5·0	4·62	184	204	0·90	62		
	5·0	5·52	215	244	0·88	67		
22./10.	5·0	5·39	211	224	0·94	59		
	5·1	5·57	211	227	0·93			
23./10.	5·1	5·60	199	223	0·89	63		
	5·0	5·55	198	217	0·91			
24./10.	5·0	5·69	221	235	0·95	60		
	5·1	6·05	223	245	0·95			
25./10.	5·1	5·28	203	228	0·89	57		
	5·1	5·40	199	231	0·86			
18./10.	5·0	5·69	205	218	0·94		225 ± 3·5	Stehend mit schlaffer Haltung
19./10.	5·1	5·37	195	232	0·84	74		
	5·1	5·63	204	222	0·92			
22./10.	5·1	5·67	208	242	0·86	80		
23./10.	5·0	6·10	204	216	0·95	81		
24./10.	5·2	5·31	192	215	0·89	80		
	4·0	5·78	209	235	0·89			
25./10.	5·0	5·61	191	222	0·86	81		
18./10.	4·0	7·08	268	270	0·99		253 ± 6·2	Stehend mit strammer Haltung
19./10.	4·0	7·08	258	290	0·89	86		
22./10.	5·1	5·83	212	243	0·87			
	4·1	6·12	222	257	0·86	92		
23./10.	4·1	6·07	210	233	0·90	86		
24./10.	5·0	5·81	207	232	0·89	84		
	4·0	6·12	218	243	0·90			
25./10.	5·0	6·33	221	258	0·86	88		
	4·1	6·32	217	253	0·86			

Eine nicht unwesentliche Verminderung des Umsatzes in sitzender Stellung ist im Laufe der Versuche eingetreten. Zweifelsohne ist sie von der gleichzeitigen Gewichtserniedrigung, die durch die Trainierung sowie durch die Ernährungsverhältnisse während der Teuerzeit hervorgerufen wurde, abhängig. Der Übersichtlichkeit halber geben wir in der Tab. 3 die gefundenen Mittel sowie das Körpergewicht der Versuchsperson zu den verschiedenen Zeiten an. Während das Körpergewicht von Februar bis Oktober mit 16 Proz. gesunken ist, wird der O_2-Ver-

brauch gleichzeitig mit etwa 8 Proz. reduziert. Der O_2-Verbrauch pro Kilogramm Körpergewicht steigt folglich; höchstwahrscheinlich kommt das daher, daß vor allem Fett verloren gegangen ist.

Tabelle 3.

Ruheversuche mit N. S.

Zeit	Körpergewicht netto kg	Liegend			Sitzend		
		O_2-Verbrauch ccm		Pulsfrequenz	O_2-Verbrauch ccm		Pulsfrequenz
		pro Min.	pro Min. und kg		pro Min.	pro Min. und kg	
Juli 1917	90·5	262	2·90	64			
Febr. 1918	86·5				246	2·85	56·5
Mai 1918	81				241	2·98	53
Sept. 1918	73				221	3·03	57
Okt. 1918	73				226	3·10	60

Zeit	Körpergewicht netto kg	Stehend m. schlaffer Haltung		Stehend m. strammer Haltung	
		O_2-Verbrauch ccm pro Minute	Pulsfrequenz	O_2-Verbrauch ccm pro Minute	Pulsfrequenz
Febr. 1918	86·5	272	69·5		
Mai 1918	81				
Sept. 1918	73	240	68		
Okt. 1918	73	225	79	253	87

Der Umsatz, den man beim Stehen mit schlaffer Haltung findet, ist für Februar und September 11 bzw. 8·5 Proz. höher als in der bequem sitzenden Stellung. Dagegen ist im Oktober kein Unterschied mehr vorhanden. Hiermit stimmt gut überein, daß die Versuchsperson selbst eine deutliche Empfindung von der Bedeutung der Übung hatte. Im Anfang bereitete das langwierige Stillstehen wesentliche Schwierigkeiten und war für die Versuchsperson sehr ermüdend, und kleine schwankende Bewegungen traten auf. Im Laufe der Versuche wurde das Ermüdungsgefühl geringer und auch die Neigung zum Schwanken nahm ab. Bei den letzten Versuchen (im Oktober) konnte die Versuchsperson ohne Schwierigkeit oder subjektives Unbehagen Stillstehen während 30 Minuten ertragen. Die Vermehrung des Gaswechsels beim Stehen dürfte zum großen Teil von kleinen Bewegungen abhängen. In Übereinstimmung damit fanden Benedict und Murschhauser[1]

[1] *Energy transformations during horizontal walking.* Carn. Inst. of Wash. Publ. 1915. Nr. 231.

keinen sicheren Unterschied des Umsatzes zwischen sitzender Stellung und Stehen mit Stütze. — Beim Stehen mit strammer Haltung stieg der O_2-Verbrauch um 12 Proz.

Der respiratorische Quotient ist für N. S. in den Oktoberversuchen durchgehend ziemlich hoch. Möglicherweise hängt dies mit einer gewissen Überventilation zusammen, die dadurch verursacht sein dürfte, daß der Versuchsleiter bei diesen Versuchen nicht geübt war, so daß die Versuchsperson nicht in demselben Grade wie gewöhnlich psychisch indifferent war. Wir meinen deshalb, daß es am richtigsten ist, mit einem reellen Quotienten zu rechnen, der dem Werte während der früheren Perioden und sitzender Stellung entspricht (0·82).

Der Ruhewert für G. L. bzw. für E. S. zeigte auch gewisse Schwankungen, wie aus den Tabb. 4 und 5 hervorgeht. Für beide ist der Wert im September oder Oktober etwas niedriger als früher im Jahre. Stehend mit schlaffer Haltung gibt eine Erhöhung von 4 bis 6 Proz. für G. L. und 10 Proz. für E. S.; die stramme Haltung gibt bei dem Letztgenannten etwas mehr. Versuche über den Einfluß der Übung wurden hier nicht ausgeführt.

Tabelle 4.

Ruheversuche mit G. L.

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz	Mittel des O_2-Verbrauchs	Bemerkungen
27./2.	5·1	5·56	166	201	0·83	55		
	5·0	5·61	170	206	0·82		207	Sitzend
	5·0	6·13	170	215	0·79	54		
	5·0	6·33	175	215	0·81	58		Stehend mit schlaffer Haltung
	4·1	6·77	178	217	0·82		216	
	4·0	6·96	183	217	0·84	70		
11./5.	5·0	5·64	164	214	0·77	47		
	5·0	5·63	165	202	0·82			
	5·0	5·50	169	205	0·83			
	5·1	5·54	165	202	0·81	48		
14./5.	5·0	5·27	155	191	0·81	43		
	5·0	4·93	147	183	0·81			
	5·1	5·07	155	188	0·82		198 ± 2·6	Sitzend
	5·0	5·61	169	201	0·84	43		
17./5.	5·1	5·70	162	198	0·82	47		
	5·0	5·63	151	186	0·81			
	5·0	6·44	171	204	0·84			
	5·0	6·23	161	198	0·81	48		

Tabelle 4 (Fortsetzung).

Versuchstag	Versuchs-dauer in Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz	Mittel des O_2-Verbrauchs	Bemerkungen
11./9.	5·1	4·37	168	197	0·85	54		
	5·0	4·31	166	197	0·84	56		
	5·0	5·02	171	203	0·84	64		
	4·0	5·59	170	207	0·82		198 ± 2·5	Sitzend
12./9.	5·0	4·67	178	204	0·87	53		
	5·1	4·68	173	191	0·91			
13./9.	5·1	4·16	163	190	0·86	52		
12./9.	5·0	5·52	180	215	0·83	66		
	4·0	5·93	176	221	0·80		210 ± 6·0	Stehend mit schlaffer Haltung
13./9.	4·0	4·77	149	193	0·77	65		
	5·1	5·96	170	209	0·81			

Tabelle 5.
Ruheversuche mit E. S.

Versuchstag	Versuchs-dauer in Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min	$\frac{CO_2}{O_2}$	Pulsfrequenz	Mittel des O_2-Verbrauchs	Bemerkungen
16./2.	5·5	4·74	170	204	0·83			
	5·5	4·55	180	206	0·87		207	Sitzend
	5·5	4·61	180	212	0·85			
31./10.	5·1	4·91	159	175	0·91	48		
	5·0	5·68	177	213	0·83			
	4·0	4·71	140	168	0·84	56		
1./11.	4·0	6·17	186	193	0·97	50	191 ± 6·7	Sitzend
	5·0	5·97	181	196	0·92			
	5·0	6·15	183	198	0·93			
31./10.	4·0	4·30	189	220	0·86	82	210	Stehend mit schlaff. Haltung
1./11.	4·0	5·64	181	199	0·91	72		
31./10.	4·0	4·48	189	222	0·85	84	214	Stehend mit stramm. Haltg.
1./11.	4·0	5·82	185	205	0·90	76		

Es geht also hieraus hervor, daß die Vermehrung des Umsatzes beim Stehen bei den verschiedenen Versuchspersonen verschieden war und auch bei derselben Versuchsperson mit der Übung variierte. Je vollständiger auch kleine Körperbewegungen vermieden werden konnten, desto kleiner fiel die Erhöhung aus. Unter diesen Umständen scheint es uns nicht angemessen, den Wert der stehenden Stellung als Ausgangswert im folgenden bei der Berechnung der durch die Arbeit hervorgerufenen Gaswechselsteigerung zu benutzen. Statt dessen benutzen wir zu diesem Zwecke die bequeme sitzende Stellung. Es kommt noch

die von Durig[1] hervorgehobene Tatsache hinzu, daß die Arbeit, die beim Stehen eingeführt wird, gar nicht in derselben Weise beim Gehen vorhanden sein muß. Noch weniger dürfte dies der Fall sein beim Laufen, sowie beim Ski- und Schlittschuhlaufen, wo die ganze Körperhaltung eine andere als beim Stehen ist.

Kapitel 3.

Respirationsversuche beim Gehen.

Der Gaswechsel beim Gehen ist ja durch zahlreiche Untersuchungen sehr wohl bekannt. Wir weisen besonders auf Durigs[1] sowie auf Benedicts und Murschhausers[2] ausführliche Darstellungen hin, wo auch die Literatur eingehend behandelt wird. Im Zusammenhange mit Versuchen über das Schwimmen haben wir früher eine kleine Zahl von Gehversuchen mit N. S. und G. L. gemacht[3], da aber die äußeren Verhältnisse dabei ziemlich ungünstig waren, hielten wir es für zweckmäßig, sie auf erstklassiger Bahn zu wiederholen. Es wird hierdurch möglich, für dieselben Versuchspersonen die Werte bei dem schon vorher gut untersuchten Gehen mit anderen Körperübungen zu vergleichen. Unser Versuchsmaterial wird in den Tab. 6 und 7 mitgeteilt, und die Hauptergebnisse werden in den Tab. 8 und 9 zusammengestellt.

Tabelle 6.
Gehversuche auf horizontaler Bahn.
Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min.	Schritte pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m*
29./5.	87·1	1·5	66·4	89	16·6	15·4	651	847	0·77	0·105
28./5.	87·2	1·4	73·4	—	16·1	16·5	736	941	0·78	0·109
27./5.	87·9	1·3	80·0	105	17·6	17·8	812	1050	0·77	0·115
27./5.	87·9	1·2	80·6	—	15·3	18·2	794	1028	0·77	0·111
28./5.	87·2	1·1	94·1	113	19·6	23·1	1088	1363	0·80	0·135
27./5.	87·9	1·1	94·8	115	19·9	23·0	1055	1377	0·77	0·134
27./5.	87·9	1·0	96·0	—	20·1	23·4	1083	1420	0·76	0·140
28./5.	87·2	1·0	99·7	123	20·0	22·5	1075	1341	0·80	0·126
28./5.	87·2	0·9	114·3	—	32·0	34·0	1600	1957	0·82	0·172

* Hier wie im folgenden nach Abzug des Ruhewertes berechnet.

[1] *Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch. zu Wien.* 1911. Bd. LXVIII. S. 242.

[2] *Energy transformations during horizontal walking.* Carn. Inst. of Wash. Publ. 1915. Nr. 231.

[3] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 25.

Tabelle 7.

Gehversuche auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L.

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min.	Schritte pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
29./5.	57·7	1·6	63·4	—	10·8	11·6	481	593	0·81	0·108
28./5.	58·3	1·5	65·7	—	13·8	11·6	489	549	0·89	0·092
24./5.	58·7	1·3	73·1	110	15·6	12·6	510	644	0·79	0·104
	58·7	1·3	74·2	98	12·0	11·9	511	627	0·82	0·099
	58·7	1·3	76·8	98	12·5	12·1	498	621	0·80	0·094
	58·7	1·1	92·1	109	16·0	15·5	666	816	0·82	0·113
23./5.	58·9	4·1	94·4	117	15·0	16·5	725	859	0·84	0·119
	58·9	2·1	95·1	—	15·2	17·3	752	909	0·83	0·127
	58·9	4·0	96·5	124	16·8	17·4	747	879	0·85	0·120
	58·9	2·1	97·2	125	14·1	16·9	732	903	0·81	0·123
	58·9	1·0	98·5	136	15·0	17·0	713	883	0·81	0·118
	58·9	1·0	98·5	120	16·0	17·9	746	886	0·84	0·119
	58·9	1·0	99·2	131	17·1	17·9	737	939	0·79	0·127
	58·9	1·0	99·8	122	16·2	18·3	760	872	0·87	0·115
	58·9	1·0	100·2	124	17·3	17·7	761	936	0·81	0·125
	58·9	1·0	102·1	—	17·6	21·7	899	968	0·93	0·128
24./5.	58·7	0·8	117·7	129	19·1	22·6	1002	1248	0·80	0·152
	58·7	0·8	117·7	136	18·0	23·6	1043	1266	0·82	0·155
	58·7	0·8	129·6	129	18·4	24·2	1123	1367	0·82	0·154
	58·7	0·7	131·9	131	20·1	28·2	1299	1431	0·91	0·159

Tabelle 8.

Übersicht der Gehversuche auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: N. S.

Geschwindigkeit m pr. Min.	Geschwindigkeit m pr. Min. (Mittel)	Zahl der Versuche	Schritte pro Min.	Zahl der Versuche f. d. Best. d. Schritte	Länge der Schritte in cm	O_2-Verbrauch p. kg u. m ccm	kalorien pro kg und m
50—75	69·9	2	89	1	78·5	0·107	0·517
75—100	90·9	6	114	4	79·7	0·127	0·613
>100	114·3	1	—	—	—	0·172	0·830

Die Werte sind, wie zu erwarten, nicht unbedeutend niedriger als diejenigen, die wir früher auf weniger geeigneter Bahn fanden. Um einen direkten Vergleich mit Durig sowie mit Benedict und Murschhauser zu erleichtern, haben wir auch den Umsatz in kalorien berechnet. Dabei haben wir aber nicht wie die erwähnten Verfasser,

Tabelle 9.

Übersicht der Gehversuche auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L.

Geschwindigkeit m pr. Min.	Geschwindigkeit m pr Min. (Mittel)	Zahl der Versuche	Schritte pro Min.	Zahl der Versuche f. d. Best. d. Schritte	Länge der Schritte in cm	O_2-Verbrauch p. kg u. m ccm	kalorien pro kg und m
50—75	69·1	4	104·0	2	66·4	0·101	0·491
75—100	94·9	10	120·2	9	79·0	0·118	0·574
>100	116·5	6	129·8	5	89·8	0·146	0·710

für jeden besonderen Versuch den dabei beobachteten respiratorischen Quotienten gebraucht. Statt dessen haben wir direkt hier wie im folgenden einen Durchschnittswert aus den Ruheversuchen gebraucht (für G. L. 0·85, für N. S. — die Versuche vor Oktober in sitzender Stellung — 0·82 und für E. S. 0·88). Da wir wie die zitierten Verfasser oft genug bedeutende Schwankungen des respiratorischen Quotienten in Arbeitsversuchen, die unmittelbar nacheinander ausgeführt wurden, beobachten konnten, sind wir der Auffassung, daß der in diesen Fällen gefundene Quotient nicht reell ist, sondern daß Änderungen in dem CO_2-Vorrat des Körpers mit großer Wahrscheinlichkeit eingetreten sind. Die größere Genauigkeit, die man durch Rechnen mit dem in jedem besonderen Falle gefundenen Quotienten erhält, dürfte deshalb vollständig illusorisch sein. Überhaupt scheint uns aus dieser Ursache die Kalorienberechnung bei kurzdauernden Versuchen dieser Art prinzipiell ziemlich wenig wert zu sein. Es kommt ja noch hinzu, daß der Anteil des Eiweißes am Stoffwechsel unbekannt ist. Aus den Zahlen von Benedict und Murschhauser sowie Durig ist ersichtlich, daß sie mit der unrichtigen Annahme rechnen, daß überhaupt die ganze Verbrennung von stickstofffreiem Material versorgt wird. Um den Vergleich zu erleichtern, wird die Berechnung auch hier so ausgeführt. Wenn nun auch die Fehler hierdurch nicht groß werden, ist aber auch aus dieser Ursache die Angabe des O_2-Verbrauchs unserer Meinung nach im Prinzip richtiger.

Betreffs der Atmungsfrequenz und der Ventilation trifft man bei beiden Versuchspersonen eine regelmäßige Steigerung bei steigendem Umsatz. Bei N. S. steigt die Frequenz erst von 16 auf 20 pro Minute

und erreicht bei der größten Geschwindigkeit sogar den Wert 32. Die Ventilation steigt gleichzeitig von 15 auf 23 l, bzw. als Maximum 34 l. Die Atemzüge halten sich im ganzen ziemlich konstant bei etwa 1200 bis 1400 ccm (37°). Der respiratorische Quotient ist durchgehend mäßig hoch. G. L. zeigt noch niedrigere Respirationsfrequenz (11 bis 20); auch die Ventilation ist niedriger, zwischen 12 und 28 l pro Minute schwankend. Die Atemzüge sind bei niedriger Geschwindigkeit (weniger als 90 m pro Minute) etwa 1000 bis 1300 ccm (37°), bei größeren Geschwindigkeiten 1200 bis 1700 ccm. Der respiratorische Quotient ist im allgemeinen nicht erhöht.

Der O_2-Verbrauch zeigt mit wachsender Geschwindigkeit eine regelmäßige Steigerung, bei N. S. von 847 bis 1957 ccm pro Minute, bei G. L. mit seinem wesentlich geringeren Körpergewicht von 549 bis 1431 ccm. Die Werte pro Kilogramm und Meter (Tab. 8 und 9) stimmen gut mit den in der Literatur mitgeteilten Versuchen überein. In beiden Fällen erhält man für niedrige Geschwindigkeiten Werte um etwa 0·5 kal. pro Kilogramm und Meter. Mit steigender Geschwindigkeit ist bei beiden Versuchspersonen die typische Vermehrung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter vorhanden. Wie vor allem Durig gezeigt hat, geschieht diese Steigerung individuell etwas verschieden, indem die „ökonomische Maximalgeschwindigkeit" variiert. Für N. S. ist die Steigerung sogar etwas schneller als bei derjenigen von den von Durig berücksichtigten Versuchspersonen (L. Z.), die die schnellste Steigerung zeigt, während sie sich für G. L. wie bei Durigs Versuchsperson Rl verhält.

Es ist von Interesse, sich zu erinnern, daß das Körpergewicht von N. S. viel größer als das von G. L. ist. (Das Bruttogewicht ist für N. S. etwa 1·5mal so groß wie für G. L.) Trotzdem wird der Umsatz pro Kilogramm und Meter sogar größer bei N. S., was auch gut mit gewissen Erfahrungen von Durig übereinstimmt. — Aus den Tabellen geht hervor, daß der Mechanismus zum Erreichen einer vermehrten Geschwindigkeit etwas verschieden ist. G. L. zeigt beim langsamen Gehen eine ziemlich große Zahl relativ kurzer Schritte (etwa wie die Versuchsperson 2 von Benedict und Murschhauser); bei vermehrter Geschwindigkeit wachsen sowohl Zahl wie Länge der Schritte. N. S. dagegen braucht beim langsamen Gehen nicht so viele, aber längere Schritte, und die Vermehrung bei größerer Geschwindigkeit scheint beinahe ausschließlich die Zahl der Schritte zu befallen.

Kapitel 4.

Respirationsversuche beim Laufen.

Im Zusammenhange mit ihren Untersuchungen über das Gehen haben Benedict und Murschhauser auch 15 Versuche mit Laufen ausgeführt. Wie beim Gehen geschah dies auf Tretbahn; die Geschwindigkeit schwankte unbedeutend um den mittleren Wert 147·5 m pro Minute. Der Umsatz pro Kilogramm und Meter (nach Abzug des Ruhewertes in liegender Stellung) war im Durchschnitt 0·819 kal., d. h. wesentlich niedriger als beim Gehen mit etwa derselben Geschwindigkeit (144·1 m pro Minute), wo er 0·946 kal. ausmachte. Zu bemerken ist aber hierbei, daß die Versuchsperson bei dem sehr raschen Gehen kräftige Schwingungen mit den oberen Extremitäten ausführte.

Unsere Versuche an den drei erwähnten Versuchspersonen, die in den Tab. 10, 12 und 13 mitgeteilt werden, wurden mit Geschwindigkeiten ausgeführt, die zwischen 130 und 300 m pro Minute variierten. Für N. S. haben wir 19, für G. L. 17 und für E. S. 13 Versuche. Außerdem hatten wir die Gelegenheit, einen einzelnen Versuch an einem außerordentlichen Läufer, J. Z., auszuführen, welcher Versuch in der Tab. 16 mitgeteilt wird; die Vorperiode war hier 1·5 Minute.

Für N. S. (Tab. 10) erreicht die Respirationsfrequenz schon bei der kleinsten Geschwindigkeit bis 23 bis 30 pro Minute, steigt im großen ganzen (Tab. 10) mit vermehrter Geschwindigkeit und erreicht den Maximalwert 42·4. Weder bei dieser noch bei den anderen Versuchspersonen haben wir irgendeinen Zusammenhang zwischen den rhythmischen Beinbewegungen beim Gehen oder Laufen und der Respirationsfrequenz gefunden. Die Ventilation hält sich bei niedriger Geschwindigkeit auf 40 bis 50 l pro Minute (50 bis 60 l bei 37°), steigt im großen ganzen und erreicht als Maximum 82 l pro Minute (100 l bei 37°). Die beiden erwähnten Funktionen zeigen jedoch große Unregelmäßigkeiten. Die einzelnen Atemzüge schwanken innerhalb ziemlich enger Grenzen (1710 bis 2230 ccm oder bei 37° 2070 bis 2700 ccm) und scheinen nicht mit Sicherheit von dem wechselnden Umsatz beeinflußt zu werden.

Der respiratorische Quotient ist bei den niedrigsten Geschwindigkeiten unter 0·9, bei den größeren liegt er regelmäßig höher und steigt oft wesentlich über 1 (Maximum 1·18).

Schon bei dem langsamsten Laufe erreicht der O_2-Verbrauch den hohen Wert von 2525 bis 2800 ccm pro Minute und steigt dann weiter bis mehr als 3500 ccm pro Minute. Die Steigerung ist aber nicht un-

Tabelle 10.

Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: N. S.

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min.	Schritte pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
16./9.	80·7	0·7	143·9	149	27·4	51·2	2418	2880	0·84	0·228
17./9.	80·7	0·7	145·6	153	24·8	43·8	2266	2525	0·90	0·196
16./9.	80·7	0·7	146·0	151	26·3	47·4	2397	2743	0·87	0·214
17./9.	80·7	0·7	153·1	150	23·0	42·0	2304	2673	0·86	0·198
19./9.	81·7	0·6	168·6	152	28·7	58·1	2683	3060	0·88	0·206
16./9.	80·7	0·5	186·2	156	31·7	63·5	3018	3342	0·90	0·206
	80·7	0·5	188·7	164	30·2	59·7	2807	3267	0·86	0·200
19./9.	81·7	0·5	200·0	160	—	61·1	3078	2876	1·07	0·163
17./9.	80·7	0·5	210·5	168	31·6	70·6	3662	3394	1·08	0·186
	80·7	0·5	213·7	176	30·0	59·6	2897	3213	0·90	0·174
19./9.	81·7	0·5	214·1	164	32·2	55·0	2778	2899	0·96	0·153
16./9.	80·7	0·5	215·1	139	23·7	51·9	2814	2695	1·04	0·143
19./9.	81·7	0·5	217·4	168	37·0	75·8	3562	3024	1·18	0·158
17./9.	80·7	0·4	225·7	180	36·2	67·3	3303	3344	0·99	0·172
	80·7	0·4	232·6	177	39·6	77·0	3232	3393	0·95	0·169
25./9.	81·1	0·4	232·6	168	41·8	81·7	3514	3504	1·01	0·174
	81·1	0·4	233·6	160	32·7	67·6	3334	3314	1·01	0·163
19./9.	81·7	0·4	235·3	164	42·4	80·4	3560	3206	1·11	0·155
16./9.	80·7	0·4	245·7	158	29·5	63·2	3020	3342	0·90	0·157

unterbrochen, indem eine tatsächliche Erniedrigung des O_2-Verbrauchs pro Minute bei einer mittleren Geschwindigkeit von etwa 214 m pro Minute einzutreten scheint. Werden die Versuche in Gruppen nach der Geschwindigkeit geordnet, geben sie die folgenden Mittel (Tab. 11).

Tabelle 11.

Übersicht der Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: N. S.

Geschwindigkeit m pro Min.	Geschwindigkeit (Mittel)	Zahl der Versuche	Schritte pro Minute	Länge der Schritte cm	O_2-Verbrauch p. kg u. m ccm	kalorien p. kg u. m
143·9 —175	151·4	5	151·0	100·0	0·208	1·004
175 —200	191·6	3	160·3	119·5	0·190	0·917
200 —225	214·2	5	163·0	131·4	0·163	0·787
225 —250	234·3	6	167·8	139·6	0·165	0·796

Der Umsatz pro Kilogramm und Meter zeigt folgende bemerkenswerte Verhältnisse. Bei der kleinsten Geschwindigkeit ist der betreffende Umsatz wesentlich höher als bei der höchsten von uns erreichten Gehgeschwindigkeit. Bei vermehrter Laufgeschwindigkeit ist aber eine unzweifelhafte und wesentliche Senkung vorhanden, so daß bei 214 m pro Minute ein Optimum erreicht wird — wie erwähnt, sinkt auch der absolute O_2-Verbrauch dort auffallend —; bei dieser Geschwindigkeit ist der Umsatz pro Kilogramm und Meter etwa derselbe wie beim schnellen Gehen. Bei noch größerer Geschwindigkeit finden wir keine sichere Änderung der Werte.

Die Zahl der Schritte pro Minute wächst ziemlich unbedeutend — in maximo 11 Proz. —, während die Länge der einzelnen Schritte um 40 Proz. zunimmt.

Die Verhältnisse bei G. L. und E. S. bieten in gewissen Hinsichten Abweichungen. Vor allem gilt das vom Atmungsmechanismus. Die Respirationsfrequenz ist bei G. L. für niedrige Geschwindigkeiten sehr langsam (14 bis 15), in der Mehrzahl der Versuche aber auf der mäßigen Höhe von 20 bis 30, die nur in vereinzelten Fällen überschritten wird (Maximum 42·8), während sie bei E. S. offenbar für höhere Frequenzen angepaßt ist, indem er eine ziemlich regelmäßige Steigerung von 24 bis 45 Atemzüge pro Minute aufweist. Die Ventilation ist für G. L. sehr unregelmäßig steigend von 35 l pro Minute (42 bei 37°) bis zu einem Maximum von 75·9 (bzw. 92) l; für E. S. ist die Steigerung bedeutend gleichmäßiger (Grenzen: 38 und 76·6 bzw. 46 und 93 l). Die Atemzüge von G. L. sind am größten bei den niedrigen Geschwindigkeiten mit ihrer langsamen Atmungsfrequenz (sie werden dort 3100 ccm — 37° — und schwanken dann unregelmäßig zwischen 1600 und 2600). Die Atemzüge von E. S. halten sich sehr gleichmäßig, die meisten zwischen 1950 und 2050 ccm (37°); bisweilen erreichen sie nicht diese Tiefe (Minimum 1650 ccm). Die hohen Werte des respiratorischen Quotienten in gewissen Versuchen sind auffallend. Ganz besonders gilt dies von E. S.: 9 von 13 Versuchen zeigen einen Quotienten gleich 1 oder größer und die übrigen 4 liegen zwischen 0·95 und 1·0.

In Übereinstimmung mit dem geringeren Körpergewicht zeigen diese beiden Versuchspersonen einen niedrigeren O_2-Verbrauch als N. S. bei denselben Geschwindigkeiten. Die niedrigsten Werte liegen dicht beieinander (1854 bzw. 1828 ccm); für E. S. ist dieser Wert bei 162 m pro Minute vorhanden, während langsamere Geschwindigkeit einen

Tabelle 12.

Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L.

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p Min.	Schritte pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
17./9.	59·8	0·7	142·2	152	14·2	36·9	1692	1854	0·91	0·195
	59·8	0·6	170·4	156	15·3	39·4	1783	1984	0·90	0·175
19./9.	59·9	0·6	173·2	156	20·6	43·7	1858	2007	0·93	0·174
31./5.	57·7	0·6	174·5	164	21·0	43·8	1900	1900	1·00	0·169
19./9.	59·9	0·6	175·9	160	—	42·3	1894	1894	1·00	0·161
31./5.	57·7	0·5	186·2	156	20·5	35·5	1683	1904	0·88	0·159
17./9.	59·8	0·5	186·2	160	20·5	38·4	1702	1871	0·91	0·150
31./5.	57·7	0·5	191·2	161	24·9	44·6	1916	2005	0·96	0·164
17./9.	59·8	0·5	216·0	164	23·8	46·1	2061	1913	1·08	0·133
29./5.	57·7	0·4	232·6	—	23·3	44·3	1752	2204	0·79	0·150
30./5.	57·6	0·4	238·1	—	28·6	56·7	2286	2252	1·02	0·150
17./9.	59·8	0·4	245·7	160	32·0	68·4	2803	2477	1·21	0·155
19./9.	59·9	0·4	245·7	164	27·1	59·8	2578	2255	1·14	0·140
17./9.	59·8	0·4	251·9	156	42·8	59·8	2193	2366	0·93	0·144
29./5.	57·7	0·4	259·7	—	28·6	51·5	2123	2195	0·97	0·133
	57·7	0·4	261·1	—	28·7	45·7	1810	2194	0·83	0·133
19./9.	59·9	0·4	272·5	156	38·2	75·9	3112	2573	1·21	0·145

Tabelle 13.

Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: E. S.

Versuchstag	Gewicht Brutte kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min	Schritte pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
9./10.	65·3	0·7	133·8	160	24·1	39·1	1888	1982	0·95	0·205
14./10.	65·9	1·4	139·5	—	25·1	41·9	2076	1996	1·04	0·196
	65·9	1·4	140·4	156	23·9	39·8	1994	2073	0·96	0·203
11./10.	64·9	0·6	162·3	160	27·6	37·9	1817	1828	0·99	0·155
12./10.	65·3	0·5	185·4	160	29·6	46·1	2136	2003	1·07	0·150
11./10.	64·9	0·5	187·5	160	31·9	43·8	2179	2162	1·01	0·162
9./10.	65·3	0·5	210·0	156	27·2	44·1	2125	2001	1·06	0·132
11./10.	64·9	0·5	213·9	156	34·2	49·8	2158	2193	0·98	0·144
	64·9	0·4	223·0	156	38·0	61·9	2649	2649	1·00	0·170
	64·9	0·4	238·2	156	45·3	68·8	2780	2601	1·07	0·156
9./10.	65·3	0·4	238·6	152	40·6	62·1	2782	2521	1·10	0·149
14./10.	65·9	0·4	255·8	156	40·7	68·3	2944	2596	1·13	0·143
	65·9	0·3	298·8	156	44·8	76·6	3042	2904	1·05	0·137

höheren Umsatz gibt. Auch G. L. weist keine regelmäßige Erhöhung des Umsatzes auf, indem dieser bei der Geschwindigkeit 170 bis 175 m pro Minute etwa gleich groß ist wie für die Geschwindigkeit 185 bis 190 m. Mit diesen Ausnahmen findet man aber bei Steigerung der Geschwindigkeit auch Steigerung des Umsatzes. G. L. erreicht einen O_2-Verbrauch von 2573 ccm, E. S., der wesentlich schneller zu laufen vermochte, kam bis 2904 ccm pro Minute.

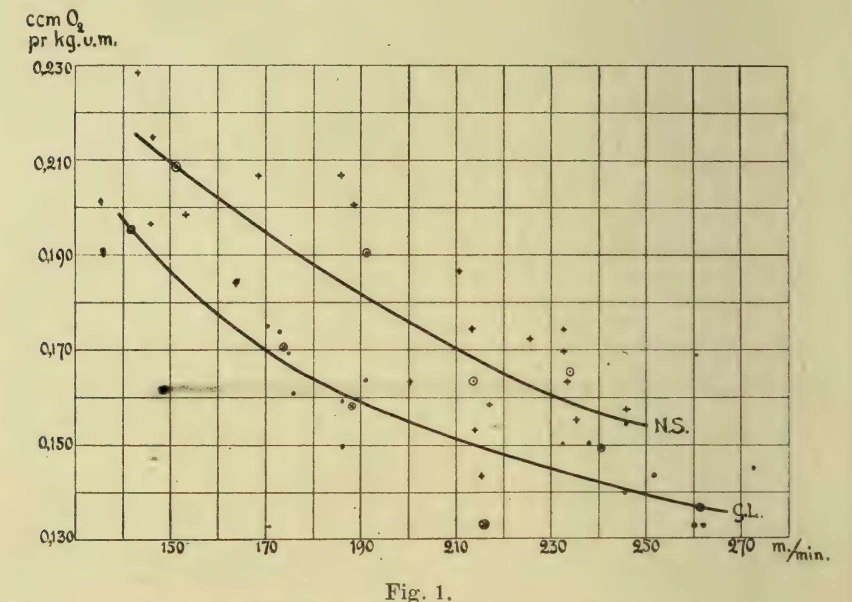


Fig. 1.

O_2-Verbrauch pro kg und m beim Laufen.

+ Beobachtete Werte bei N. S. ⊙ Mittel aus der Tabelle 11 (N. S.).
• „ „ „ G. L. ⊗ „ „ „ „ 14 (G. L.).

Aus den Tab. 14 und 15 geht hervor, daß der O_2-Verbrauch pro Kilogramm und Meter im großen ganzen sowohl für G. L. als auch E. S. niedriger als für N. S. liegt. Graphisch werden die Werte in den Figg. 1 und 2 wiedergegeben.

Für G. L. sinkt der betreffende Umsatz von einem Höchstwert (0·195 ccm O_2) bei niedriger Geschwindigkeit im großen ganzen mit steigender Geschwindigkeit. Ein Minimum (0·133 ccm O_2) wird wohl bei etwa 216 m pro Minute erreicht, da aber nur ein einziger Wert dort vorliegt, dürfte man diesem Umstande doch keine große Bedeutung zuerkennen können. Wie die Fig. 1 zeigt, gruppieren sich die Werte

Tabelle 14.

Übersicht der Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L.

Geschwindigkeit m pr. Min.	Geschwindigkeit (Mittel)	Zahl der Versuche	Schritte pro Min.	Zahl der Versuche für die Schrittbest.	Länge der Schritte cm	O_2-Verbrauch p. kg u. m ccm	kalorien pro kg und m
142·2	142·2	1	152	1	93·6	0·195	0·949
150—180	173·5	4	159	4	109·1	0·170	0·827
180—200	187·9	3	159	3	118·2	0·158	0·769
200—225	216·0	1	164	1	131·7	0·133	0·646
225—250	240·5	4	162	2	148·5	0·149	0·724
250—275	261·3	4	156	2	167·5	0·137	0·666

Fig. 2.

O_2-Verbrauch pro kg und m beim Laufen. Versuchsperson: E. S.

• Beobachtete Werte. ⊙ Mittel aus der Tabelle 15.

Tabelle 15.

Übersicht der Respirationsversuche beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: E. S.

Geschwindigkeit m pr. Min.	Geschwindigkeit (Mittel)	Zahl der Versuche	Schritte pro Min.	Zahl der Versuche für die Schrittbest.	Länge der Schritte cm	O_2-Verbrauch p. kg u. m ccm	kalorien pro kg und m
134—150	138·7	3	157	2	88·3	0·201	0·985
150—175	162·3	1	160	1	101·4	0·155	0·759
175—200	186·5	2	160	2	116·6	0·156	0·764
200—225	215·6	3	156	3	138·2	0·149	0·730
225—250	238·4	2	154	2	154·8	0·153	0·749
250—300	277·3	2	156	2	177·8	0·140	0·686

ziemlich gleich um eine regelmäßige Kurve von genau demselben Verlauf wie für N. S. Die niedrigsten Werte des O_2-Verbrauchs pro Kilogramm und Meter sind — ähnliches gilt für N. S. — sogar niedriger als beim schnellen Gehen.

E. S. zeigt (Tab. 15, Fig. 2) ebenso eine nicht ganz regelmäßige Senkung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter bis zu der höchsten Geschwindigkeit, die erreicht wurde.

Die Zahl der Schritte hält sich bei G. L. und E. S. — abgesehen von der niedrigsten Geschwindigkeit bei G. L. — beinahe konstant, während die Schrittlänge gleichzeitig mit 79 Proz. bei G. L. und 104 Proz. bei E. S. steigt.

Für J. Z. (Tab. 16) wird die letzte Reihe mit einem angenommenen Ruhewert von 230 ccm berechnet. Der Wert pro Kilogramm und Meter liegt etwas höher als für die größten Geschwindigkeiten bei G. L. und E. S. Auch ist die Geschwindigkeit bei J. Z. wesentlich größer.

Tabelle 16.

Respirationsversuch beim Laufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: J. Z. (5 Stunden nach dem Essen).

Versuchstag	Gewicht Brutto kg	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m pr. Min	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 p kg u. m
17./9.	68·2	0·7	309·0	78·5	3696	3585	1·04	0·158

Die Beobachtungen bei den verschiedenen Versuchspersonen zeigen also deutliche individuelle Verschiedenheiten; betreffs des allgemeinen Verlaufs der Werte und ihrer Größenordnung ist aber die Übereinstimmung so gut wie man es erwarten kann. Für alle drei, wo mehrere Versuche vorliegen, tritt die deutliche Verminderung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter bei Erhöhung der Geschwindigkeit von einer gewissen unteren Grenze ab hervor.

Benedict und Murschhauser fanden für ihre Versuchsperson auf Tretbahn beim Laufen mit der Geschwindigkeit 147·5 m einen Umsatz von 0·819 kal. pro Kilogramm und Meter. Aus den Fig. 1 und 2 berechnet man die entsprechenden Werte für N. S. zu 1·016, G. L. 0·919 und E. S. 0·906 kal., d. h. in unseren Versuchen nicht unbedeutend höhere Werte. Es geht aus unseren Versuchen hervor,

daß eine noch niedrigere Geschwindigkeit als diejenige, die Benedict und Murschhauser brauchten, wahrscheinlich einen noch höheren Umsatz pro Kilogramm und Meter gegeben hätte. Man dürfte dann bald zu einem Punkt kommen, wo das Gehen ökonomischer als das Laufen wird.

Worin liegt dann die Ursache des eigentümlichen Verhältnisses, daß der Umsatz pro Kilogramm und Meter beim Laufen — in schroffem Gegensatz zu den Verhältnissen beim Gehen — mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt, wenigstens bis zu einem Optimum? Für denjenigen, der selbst mit den langsamsten Geschwindigkeiten, die wir gebraucht haben, gelaufen ist, kann die Antwort kaum zweifelhaft sein. Um mit einer Geschwindigkeit von 150 bis 200 m pro Minute zu laufen, muß man sich besonders anstrengen, kurze Schritte zu nehmen. Unsere Versuchspersonen bemühten sich bei den betreffenden Versuchen, so langsam zu laufen, wie es ihnen möglich war. Nur E. S. kam dabei unter 140 m pro Minute, den übrigen gelang dies aber nicht. Laufen mit diesen Geschwindigkeiten ist beinahe eine Parodie des Laufens, wie es im täglichen Leben tatsächlich vorkommt. Da keine vollen Schritte gemacht werden, bekommt das Ganze gewissermaßen den Charakter eines Tretens auf demselben Fleck, wobei der Körper für jeden kleinen Schritt zu einer relativ bedeutenden Höhe gehoben wird. Benedict und Murschhauser fanden für die zusammengelegte Hubhöhe pro Schritt Werte, die wir in der Tab. 17 zusammengestellt und auf Hubhöhe pro Meter Weg umgerechnet haben. Aus den dabei erhaltenen Werten haben wir den für die Erhebung erforderlichen Umsatz berechnet, sowie denjenigen Teil, den dieser von dem gefundenen Umsatz ausmacht. (Wir rechnen hierbei mit dem hohen Wirkungsgrad von 30 Proz.)

Tabelle 17.

(Nach Benedict und Murschhauser berechnet.)

	Geschwindigkeit m pro Min.	Hubhöhe pro Schritt cm	Hubhöhe pro m Weg cm	Für die Hebung erforderliche Energie	
				pro kg u. m kal.	Prozent des ganzen Umsatzes
Gehen	69·3	2·66	4·15	0·321	62
„	109·0	5·11	6·16	0·475	79
„	144·5	5·18	5·46	0·422	45
Laufen	147·6	7·56	9·32	0·720	88

Wie man findet, ist die Erhebung pro Meter Weg beim langsamen Laufen viel größer als beim schnellsten Gehen. Es werden auch beinahe 90 Proz. des ganzen Umsatzes für diese Erhebung verbraucht. Dieser Wert scheint in der Tat so hoch zu sein, daß er unserer Meinung nach zu Zweifeln betreffs der Zuverlässigkeit der Bestimmungen Anlaß gibt. Bei der Prüfung von Benedicts und Murschhausers Beschreibung scheint uns auffallend, daß sie nichts von einer Fehlerquelle erwähnen, die mit Notwendigkeit bei ihren Versuchen hineinspielen muß. Da nämlich die Versuchsperson, auch wenn die Versuche auf der gleichmäßig bewegten Tretbahn ausgeführt werden, bei jedem Schritt mit den verschiedenen Phasen des Schrittes hin und zurück bewegt werden muß, entstehen dadurch gleichzeitig mit den vertikalen Schwankungen des Schwerpunktes auch horizontale Bewegungen desselben; diese beiden Komponenten dürften mit den getroffenen Maßregeln nicht voneinander isoliert werden können. Die Werte von Benedict und Murschhauser sind auch wesentlich höher als diejenigen, die Marey[1] und Demeny[2] mit photographischen Methoden erhielten. Auch sie fanden aber relativ große vertikale Verschiebungen des Schwerpunktes beim langsamen Laufen. Wenn das Laufen schneller wurde, wurden diese Verschiebungen pro Schritt kleiner. Da die Schrittlänge mit der Geschwindigkeit zunimmt, muß die Erhebung pro Meter Weg während dieser Verhältnisse noch kleiner werden.

Um selbst eine Auffassung von den vertikalen Verschiebungen des Schwerpunktes während des Laufens zu bekommen, ließen wir die Versuchsperson in einem Kreisbogen mit einem Radius von etwa 9 m laufen. Von seiner Taille ging eine Schnur, die dann durch einen an der Decke etwa 6 m vertikal über dem Mittelpunkt des Kreises befestigten Ring und weiter zur Registrierungsanordnung lief. Bei den Verschiebungen des Schwerpunktes wurden die entsprechenden Bewegungen der Schnur geschrieben. Da die Fehlerquellen groß sind, haben wir uns mit der Feststellung begnügt, daß die Hebung des Schwerpunktes pro Schritt bei langsamem Lauf wesentlich größer als beim schnellen Lauf war.

Daß unter den jetzt erwähnten Umständen sehr hohe Werte für den Umsatz beim langsamen Lauf erhalten werden, scheint uns natürlich. Auch muß beim schnellen Lauf die Hubarbeit sowohl pro Schritt wie

---

[1] *Compt. Rend. de l'Acad. de Science.* 1885, T. CI.; p. 910. sowie Marey, *Le Mouvement.* Paris 1894.

[2] *Ebenda.* 1887. T. CV. p. 679.

noch mehr pro Meter Weg in horizontaler Richtung wahrscheinlich kleiner werden.

Noch einige Momente kommen hinzu. Johansson[1] hat nachgewiesen, daß die CO_2-Produktion bei derselben äußeren Arbeit kleiner wird, je schneller die Bewegung geschieht, was an und für sich auf den Umsatz beim schnellen Lauf vorteilhaft wirken dürfte. Dazu kommt noch die Möglichkeit einer besonderen Bremsarbeit beim sehr langsamen Lauf.

Hier muß auch erwähnt werden, daß ein zu niedriger Ruhewert bei der Berechnung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter dahin wirken muß, daß dieser Umsatz scheinbar zu groß ausfällt und auch einen relativ größeren Einfluß in dieser Richtung beim kleineren Totalumsatz — d. h. bei niedriger Geschwindigkeit — als beim großen haben muß. Wie man sich aber leicht durch eine Rechnung überzeugen kann, ist für die Senkung des betreffenden Umsatzes bei steigender Geschwindigkeit dieser Umstand sehr wenig bedeutungsvoll. Auch wenn man mit dem doppelten von uns gebrauchten Ruhewert rechnet, ist die typische Verminderung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter bei steigender Geschwindigkeit beinahe gleich so deutlich wie jetzt vorhanden.

Kapitel 5.

Respirationsversuche beim Skilaufen.

Obgleich das Skilaufen eine sehr große Anwendung teils als ein unter gewissen Umständen kaum zu entbehrendes Verkehrsmittel, teils auch als eine beliebte Sportart findet, scheinen keine Untersuchungen über die Größe des Stoffwechsels dabei ausgeführt worden zu sein.

Bei unseren Versuchen hatte jede Versuchsperson ihre eigenen Schneeschuhe; regelmäßig wurden zwei Stöcke gebraucht. Was die Ausführung des Skilaufens anbetrifft, geschah es bei kleinen Geschwindigkeiten mit den Stöcken alternierend, so daß der Läufer jedesmal, wenn der linke Schneeschuh vorwärts glitt, mit dem rechten Stock nachschiebt und umgekehrt. Bei größeren Geschwindigkeiten dagegen kam der sogenannte „Stavhugg“ (Abstoß mit beiden Stöcken gleichzeitig) zur Anwendung. Dabei nimmt der Läufer mit beiden Stöcken gleichzeitig Fahrt, und während er von der Fahrt vorwärts gleitet, werden zwei oder drei kurze, schnelle Schritte gemacht, und die Stöcke

[1] *Dies Archiv.* 1901. Bd. XI. S. 273.

werden zum nächsten Anlauf vorwärts geschoben. Bei den Ansätzen werden gewöhnlich linker und rechter Schneeschuh wechselweise vorwärts geführt. Die Arbeitsweise ist offenbar bei diesen beiden Laufarten wesentlich verschieden. Während die Ausführung mit den Stöcken alternierend als eine Art Gehen mit langen gleitenden Schritten betrachtet werden kann, bietet der Lauf mit „Stavhugg" gewisse Ähnlichkeiten mit gewöhnlichem Lauf. Es ist gar nicht ungewöhnlich, daß die Schneeschuhe dabei vom Boden gehoben werden, und es kommt auch bisweilen vor, daß beide gleichzeitig gehoben sind. Der große Unterschied zwischen den beiden Laufarten konnte eine Teilung des Materials nach diesem Gesichtspunkte berechtigt machen. Dies wird aber wesentlich dasselbe, als eine Einteilung nach der Geschwindigkeit, indem, wie erwähnt, mit Steigerung der Geschwindigkeit ein Übergang von der einen Laufart zu der anderen stattfindet. Gewiß wechselt der Punkt dieses Überganges mit äußeren Verhältnissen, wie z. B. mit der Beschaffenheit des Schnees, im großen ganzen aber kann man sagen, daß der Übergang für N. S. bei etwa 140 m pro Minute, bei G. L. bei etwa 165 m pro Minute und bei E. S. bei etwa 175 m pro Minute geschah. In beinahe sämtlichen unseren Versuchen war der Übergang scharf. Nur ein paarmal ist es vorgekommen (2 Versuche an E. S.), daß der Läufer eine Kombination beider Laufarten benutzt hat. In denjenigen Fällen, wo die Zahl des gleichzeitigen Stöckevorstoßes oder der alternierenden Stockführung während des Versuchs gerechnet wurde, wird dies in den Tabellen mitgeteilt; im letzten Falle ist die Zahl der Schritte dieselbe, im ersten etwa dreimal so groß wie die Zahl der Stöße mit den Stöcken.

Ein Faktor von größter Bedeutung beim Skilauf ist offenbar die Reibung gegen die Unterlage, die, wie jeder Läufer aus eigener Erfahrung weiß, wesentlich mit der Beschaffenheit der Schneedecke variiert. Obgleich das Laufen in einer genau aufgegangenen Spur stattfand, können gewiß kleine Schwankungen auch in Versuchen vorkommen, die unmittelbar nacheinander ausgeführt wurden. Bei weitem wichtiger sind aber die von Tag zu Tag vorhandenen Schwankungen. Während der ersten Hälfte des Januars 1918, als wir unsere ersten Versuche ausführten, war die Schneedecke ziemlich dick und die Bahn etwas rauh, obgleich sie nicht als schlecht bezeichnet werden konnte. Die Versuche mußten aber am 24. Januar abgebrochen werden, da eine Tauwetterperiode begann, während welcher der größte Teil des alten Schnees wegschmolz. Mitte Februar kam eine neue Kälteperiode

mit ziemlich spärlichem frischen Schnee über die alte gefrorene Schnee- und Eisdecke. Als die Versuche wieder aufgenommen wurden, war die Bahn wesentlich besser.

Um ein objektives Maß der Beschaffenheit der Bahn zu erhalten, wurde einige Tage die Reibung bei Verschiebung in den zu den Versuchen gebrauchten Spuren in folgender Weise bestimmt. Von einer Winde, die am Stoßschlitten aufgestellt wurde, lief zur Versuchsperson ein Seil von etwa 40 m mit gefärbten Marken für je 10 m. Am Ende des Seiles war eine genau geeichte Federwage befestigt, deren anderes Ende von der Versuchsperson festgehalten wurde, während sie mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zur Winde gezogen wurde. Dabei beobachtete die Versuchsperson die Ausschläge der Federwage, während der Versuchsleiter die Winde und die Zeitbestimmung besorgte.

Nachdem die Versuchsperson in Gang gekommen war, wozu eine Kraft erforderlich war, die mit 5 bis 10 kg diejenige überstieg, die später nötig war, um die Versuchsperson gleichmäßig zu bewegen, stellte sich die Federwage auf einen Wert ein, der während des Versuchs konstant war mit Schwankungen von etwa 0·5 kg, wesentlich von kleinen Unregelmäßigkeiten der Geschwindigkeit bedingt. In der Tab. 18 werden die erhaltenen Zahlen angeführt. (Sämtliche Werte beziehen sich auf die konstante Geschwindigkeit, nicht auf das Ingangsetzen.)

Tabelle 18.

Bestimmung der Reibung beim Skilauf.

Versuchsperson: N. S.			Versuchsperson: G. L.		
Versuchstag	Geschwindigkeit m pro Min.	Reibung kg	Versuchstag	Geschwindigkeit m pro Min.	Reibung kg
24./1.	85·5	9	24./1.	54·5	6
	88·5	8		103	6
	100	10			
	111	10			
14./2.	101·4	5	14./2.	113	3·5
	105·4	4·5—5		123	4
				129	4
			15./2.	103·4	4
				111	4
				124	4—5
18./2.	109	5	18./2.	131	3—4
	113	5		131	3—4
	143	4—5		160	4—5
	150	4			

Aus den Zahlen wird die oben angegebene subjektive Auffassung bestätigt, daß die Bahn in der letzten Hälfte des Februars im ganzen wesentlich besser als im Januar gewesen ist. Auch die einzelnen Tage im Februar weisen kleine Unterschiede auf, indem die Verhältnisse am 18. am günstigsten und am wenigsten vorteilhaft am 15. waren. Bei vermehrter Geschwindigkeit über eine gewisse Grenze scheint der Widerstand zu sinken, was wahrscheinlich nur von Versuchsfehlern abhängt. N. S. weist größeren Widerstand als G. L. auf, jedoch ist nur am 24. Januar der Unterschied dem Gewichtsunterschied entsprechend; im folgenden ist die Differenz viel kleiner. Woher dies kommt, ist unbekannt. Eine Möglichkeit ist offenbar, daß die Schneeschuhe von N. S. besser gewesen sind.

In den folgenden Tabellen werden für die verschiedenen Personen die Versuche mit Skilaufen, nach den verschiedenen Tagen gruppiert, mitgeteilt.

Prüfen wir zuerst die Verhältnisse bei N. S. (Tab. 19), so finden wir betreffs des Atmungsmechanismus im großen ganzen bei vermehrter Geschwindigkeit eine unzweifelhafte Steigerung von sowohl Frequenz wie Ventilation. Die Verhältnisse bieten indessen vieles von Interesse, wie sich am besten bei einem Vergleich mit dem Laufen ergibt. Während sich beim langsamen Skilaufen die Respirationsfrequenz um etwa 25 hält, d. h. in etwa derselben Höhe wie beim Laufen mit demselben Umsatz, findet man beim Skilaufen nur eine höchst unbedeutende Steigerung der Frequenz (bis zu 30 Atemzüge pro Minute), so hohe Werte wie beim Laufen werden gar nicht erreicht. Es geht auch deutlich hervor, daß dieser Umstand mit der Art zusammenhängt, wie das Skilaufen ausgeführt wird. Während die Stöcke alternierend geführt werden, ist die Atmungsfrequenz entweder vollständig unabhängig vom Stockstoß, oder es findet sich ein Atemzug für jeden dritten oder jeden zweiten Stockstoß. Beim Übergang zum „Stavhugg" dagegen wird die Atmung automatisch so angepaßt, daß ein Atemzug für jeden Vorstoß erhalten wird, eine Anpassung, die sehr natürlich zu sein scheint, wenn man bedenkt, daß eine große Zahl der auxiliären Respirationsmuskeln beim Stavhugg in symmetrische Wirksamkeit versetzt wird, was in hohem Grade die Atmung in eben diesem Rhythmus erleichtert. Auch die Ventilation steigt hier weit weniger als beim Laufen und erreicht einen Maximalwert von 63·2 l pro Minute (76 l bei 37°). Dank der erwähnten nur kleinen Frequenzvermehrung zeigen die einzelnen Atemzüge eine auffallende Vergrößerung mit vermehrtem Umsatz — von 1700 bis 2100 bis 2600 (37°).

Tabelle 19.

Respirationsversuche beim Skilaufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: N. S. (Bruttogewicht: 100 kg).

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min.	Laufart [1]	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr. Min.	CO_2 Abgabe ccm pr. Min.	O_2 Aufnahme ccm pr. Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
10./1.	1·1	119	*w*	24·3	41·6	2190	2752	0·80	0·210
	1·0	131·5	*s*	24·0	45·6	2270	2880	0·79	0·200
	0·9	142	*s*	27·9	44·7	2290	2795	0·82	0·180
	0·9	147	*s*	26·7	46·0	2249	3022	0·74	0·188
	0·8	159	*s*	27·6	57·2	2827	3536	0·80	0·206
	0·7	181	*s*	28·8	63·2	3128	3754	0·83	0·194
	0·7	182	*s*	29·2	62·8	3095	3446	0·90	0·176
15./1.	1·2	115·5	*w*	23·4	38·3	1965	2501	0·79	0·195
	0·9	141	*s*	26·5	43·7	2287	2828	0·81	0·183
	0·9	141·5	*s*	25·5	45·6	2366	2976	0·80	0·193
	0·9	150·5	*s*	26·1	46·0	2442	2999	0·81	0·183
24./1.	1·2	110	*w*	23·5	39·6	2039	2676	0·76	0·220
	1·1	122	*w*	25·5	39·4	2008	2665	0·75	0·198
	1·0	137·5	*w*	24·6	43·8	2193	2771	0·79	0·183
14./2.	1·1	124	*w*	16·8	32·2	1762	2258	0·78	0·162
	0·9	151	*w*	—	43·1	2301	2754	0·84	0·166
	0·9	155	*s*	23·2	40·2	2128	2588	0·82	0·151
	0·7	200	*s*	27·0	57·0	2884	3295	0·87	0·153
	0·7	200	*s*	27·0	54·1	2726	3278	0·83	0·152
15./2.	1·0	129	*w*	24·2	41·0	2168	2631	0·82	0·185
	1·0	133	*w*	24·0	40·6	2097	2665	0·79	0·182
	0·9	150	*s*	21·4	41·8	2110	2733	0·77	0·165
	0·9	156	*s*	24·6	42·1	2058	2643	0·78	0·154
	0·8	176	*s*	29·0	52·8	2557	3069	0·83	0·168
	0·7	186	*s*	28·0	53·7	2633	3165	0·83	0·157
18./2.	1·0	139	*w* 71·2	23·0	37·1	2009	2447	0·82	0·158
	0·9	145	*w* 73·2	25·1	36·0	2013	2380	0·85	0·147
	0·9	154	*s* 24·3	24·3	41·0	2052	2705	0·76	0·160
	0·8	175	*s* 29·3	29·3	52·1	2684	3241	0·83	0·171
	0·7	192	*s* 24·6	24·6	48·3	2477	3047	0·81	0·146
	0·7	202	*s* 30·2	30·2	56·2	2804	3484	0·80	0·160
	0·6	214	*s* 29·0	29·0	62·0	3107	3578	0·87	0·156
	0·6	228	*s* 29·1	29·1	60·5	3108	3645	0·85	0·149

Der respiratorische Quotient zeigt gegenüber den Versuchen beim Laufen den ziemlich bemerkenswerten Unterschied, daß hier überhaupt keine sichere Erhöhung vom Ruhewert eingetreten ist. Dies wird noch mehr auffallend, da der Umsatz hier sogar höhere Werte als beim Laufen

[1] *w*: die Stöcke werden alternierend geführt, *s*: „Stavhugg"; eine Zahl in dieser Reihe gibt an, wie viele Stockstöße vorkommen (bei *w* wird also angegeben, wie oft einer der Stöcke, bei *s*, wie oft beide gleichzeitig nach vorne geführt werden).

erreicht. Wir heben hervor, daß die Versuchsperson beim Skilaufen subjektiv gar nicht dasselbe Gefühl von Anstrengung wie beim Laufen hatte. Zu bemerken ist, wie Lindhard soeben gefunden hat, daß nach andauernder statischer Arbeit der Quotient wesentlich erhöht wird. Eine solche andauernde statische Arbeit, besonders der Rumpfmuskulatur, dürfte viel leichter beim Laufen als beim Skilaufen — wo der ganze Körper hin und her bewegt wird — vorkommen.

Der O_2-Verbrauch steigt durchgehend mit der Geschwindigkeit von 2250 ccm pro Minute zu einem Maximalwert von 3754 ccm. Die beste Übersicht über die Bedeutung der Geschwindigkeit erhält man aus der letzten Reihe der Tabelle, wo die pro Kilogramm und Meter verbrauchte O_2-Menge berechnet worden ist. Daß die Schneebahn eine bedeutende Einwirkung hat, geht auch unmittelbar hervor. Im Januar ist der betreffende Umsatz regelmäßig wesentlich größer als bei derselben Geschwindigkeit im Februar. Von irgendeiner Trainierungswirkung kann hier nicht die Rede sein, da überhaupt keine Trainierung während der Zeit vom 24. Januar bis 14. Februar stattfand (vgl. auch die übrigen Versuchspersonen). Daraus folgt, daß die Versuchsperson im Februar eine weit größere Maximalgeschwindigkeit als im Januar erreichen konnte. Auch die kleinen Schwankungen in der Schneebahn an verschiedenen Tagen im Februar spiegeln sich in den erhaltenen Werten des O_2-Verbrauchs ab, indem die Werte vom 15. Februar etwas höher als an den übrigen Tagen liegen. Im allgemeinen findet man eine Erniedrigung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter beim Übergang von alternierender Stockführung zum Stavhugg. Möglicherweise kann das davon abhängen, daß die Reibung beim Ingangsetzen, die ja (vgl. oben) wesentlich größer als die Reibung bei der gleichmäßigen Bewegung ist, beim Stavhugg eine kleinere Rolle als bei abwechselnder Stockführung spielt. Während nämlich bei der letzteren (vgl. 18. Februar) mehr als 70 Vorstöße (und Schritte) pro Minute gemacht werden, wobei die Geschwindigkeit jedesmal erheblich sinkt, werden nur 24·3 bis 30·2 bei Stavhugg ausgeführt. Andererseits werden die Verhältnisse dadurch kompliziert, daß beim Stavhugg die kleinen kurzen Schritte möglicherweise den Körper höher heben als die entsprechenden Schritte bei abwechselnder Stockführung. Wahrscheinlich ist Stavhugg am vorteilhaftesten, wenn die Reibung des Ingangsetzens nicht allzu klein ist. Man sieht auch, daß der Umsatz am 18. Februar, als die Bahn am günstigsten war, beim Stavhugg nicht sinkt, sondern etwas ansteigt. Die Schwankungen in der Beschaffenheit der Schneebahn, die im

Februar nachgewiesen wurden, dürften indessen nicht größer sein, als daß es berechtigt ist, aus ihnen Mittel zu berechnen (Tab. 20).

Tabelle 20.

Übersicht der Respirationsversuche beim Skilaufen auf horizontaler Bahn.
Versuchsperson: N. S.

Geschwindigkeit m pro Min.	Geschwindigkeit (Mittel)	Zahl der Versuche	O_2-Verbrauch pro kg und m (ccm)	kalorien pro kg und m
124—150	136·7	6	0·167	0·806
150—175	158·2	5	0·160	0·771
175—200	190·8	5	0·154	0·743
>200	214·7	3	0·155	0·747

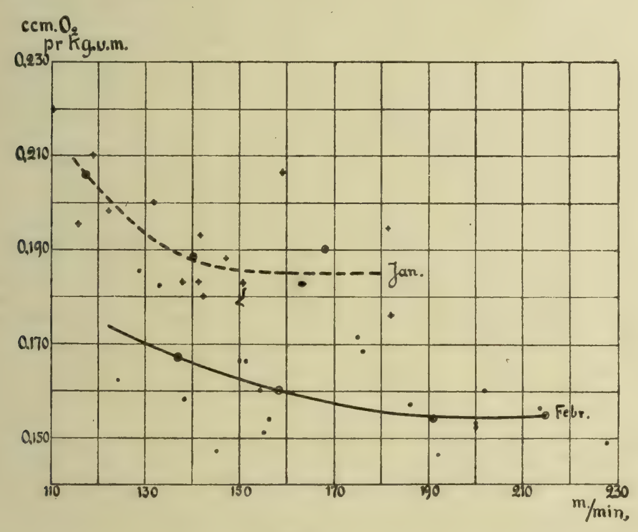


Fig. 3.

O_2-Verbrauch pro kg und m beim Skilaufen. Versuchsperson: N. S.
+ Werte im Januar. • Werte im Februar.

Nach der ersten Erniedrigung (nach dem Übergang zum Stavhugg) findet man keine sichere Änderung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter bei steigender Geschwindigkeit. Die absoluten Werte liegen in diesen Versuchen nicht unwesentlich niedriger als beim Laufen. (Am 10. Januar dagegen — bei schlechterer Bahn — wurden Werte von etwa derselben Größe wie beim Laufen erhalten.) Zur besseren Übersicht werden die Versuche bei N. S. in der Fig. 3 graphisch wiedergegeben.

Tabelle 21.

Respirationsversuche beim Skilaufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: G. L. (Gewicht brutto: 67 kg).

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p Min.	Laufart	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr. Min	CO_2-Abgabe ccm pr. Min.	O_2-Aufnahme ccm pr. Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg und m
17./1.	1·1	124·3	*w*	20·5	28·2	1396	1495	0·93	0·155
	0·9	140·3	*w*	24·3	33·9	1616	1880	0·86	0·178
	0·8	157	*w*	36·6	59·8	2644	2740	0·97	0·241
24./1.	1·0	130	*w*	23·2	40·4	1905	2160	0·88	0·224
	1·0	135	*w*	22·0	45·2	2072	2357	0·88	0·238
14./2.	1·0	129	*w*	18·8	37·3	1703	1975	0·86	0·204 [1]
	1·0	138	*w*	18·7	36·6	1625	1925	0·84	0·186 [1]
	0·9	146·5	*w*	18·7	40·2	1760	2030	0·87	0·186 [1]
	0·8	162	*w*	25·6	40·4	1860	2208	0·84	0·185
	0·8	169	*w*	25·4	51·5	2203	2301	0·96	0·185
	0·7	189	*s*	25·6	61·0	2189	2470	0·89	0·179
	0·7	194	*s*	24·8	63·6	2474	2805	0·88	0·200
15./2.	1·0	139	*w*	30·2	32·9	1458	1625	0·90	0·152
	0·9	142·5	*w*	21·5	33·8	1422	1666	0·85	0·153
	0·8	166	*s*	28·7	43·1	1731	1950	0·89	0·157
	0·8	166	*s*	25·3	47·8	1811	2160	0·84	0·176
	0·7	181	*s*	28·6	54·2	2079	2172	0·96	0·162
18./2.	0·9	146·5	*w*	23·2	34·7	1616	1664	0·97	0·148
	0·8	176	*w* 95	23·8	45·0	1988	2029	0·98	0·154
	0·7	188	*s*	24·4	46·5	1907	2033	0·94	0·145
	0·7	195	*s*	26·0	58·7	2276	2605	0·87	0·184
	0·6	210	*s*	28·5	70·4	2775	2718	1·02	0·178
	0·6	214	*s*	29·0	65·3	2356	2546	0·93	0·163

Auch G. L. und E. S. (Tab. 21 und 22) paßten die Atmung so an, daß bei alternierender Stockführung z. B. ein Atemzug für jeden zweiten (E. S. im Versuch am 18. Februar mit einer Geschwindigkeit von 181 m pro Minute) oder sogar jeden vierten Stockvorstoß (G. L. am selben Tage bei einer Geschwindigkeit von 176 m) eintrat. Beim Stavhugg dagegen kam bei G. L. regelmäßig ein Atemzug auf jeden und bei E. S. auf jeden zweiten Stavhugg. Diese Verschiedenheit hängt damit zusammen, daß G. L. (wie auch N. S.) eine wesentlich kleinere Zahl Stockstöße als E. S. brauchte, von denen aber jeder Stoß länger war. Für G. L. stieg deshalb die Atmungsfrequenz nur zweimal bis 30 oder mehr (einmal 36·6), während E. S. in der Hälfte der Versuche eine Frequenz über 30 hatte mit einem Maximum von 46·5.

[1] Die Versuchsperson glitt während des Versuchs etwas ab.

Tabelle 22.

Respirationsversuche beim Skilaufen auf horizontaler Bahn.

Versuchsperson: E. S. (Gewicht brutto: 70 kg).

Versuchs-tag	Versuchs-dauer in Min.	Geschwindig-keit m p. Min.	Laufart	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr Min.	CO_2-Abgabe ccm pr. Min.	O_2-Aufnahme ccm pr. Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg und m
17./1.	1·1	116·3	*w*	28·9	29·6	1581	1794	0·88	0·195
	1·0	129·5	*w*	27·2	29·3	1679	1989	0·84	0·196
	0·9	148·7	*w*	27·9	38·2	2082	2392	0·87	0·210
	0·9	152·3	*w* + *s*[1]	26·4	42·2	2299	2425	0·95	0·208
	0·9	154	*w*	26·6	42·9	2359	2586	0·91	0·220
	0·8	168	*w* + *s*[1]	35·3	55·3	2917	3083	0·95	0·244
	0·8	176	*s*	37·0	69·7	3547	3484	1·02	0·265
18./2.	0·8	159	*w*	26·4	36·5	1869	2111	0·89	0·171
	0·7	181·5	*w* 92·7	46·5	43·7	2156	2139	1·01	0·152
	0·7	202	*s* 66·8	33·4	52·9	2516	3002	0·84	0·197
	0·6	223	*s* 77·1	38·6	52·4	2509	2661	0·94	0·157
	0·6	228	*s*	—	47·9	2202	2638	0·83	0·152

Die Ventilation steigt im großen ganzen mit dem Umsatz, bei G. L. von 34 bis 85 l pro Minute (37⁰), bei E. S. von 35·5 bis 84·5 l (37⁰) pro Minute. Bei G. L. steigen die Atemzüge allmählich von 1670 bis 3100 ccm (37⁰), während bei E. S. die Frequenzsteigerung mehr kompensiert, so daß nur eine mäßige Vergrößerung des Atemzuges entsteht, von etwa 1200 bis etwa 1900 bis 2200 ccm (37⁰). Der respiratorische Quotient ist zwar für beide in vielen Fällen hoch, ein Vergleich mit den Tab. 12 und 13 zeigt aber, daß er ziemlich viel niedriger als beim Laufen ist.

Der O_2-Verbrauch schwankt für G. L. zwischen 1500 und 2800, für E. S. zwischen 1800 und 3500 ccm pro Minute. Mit einzelnen Ausnahmen bekommt man regelmäßig vermehrten Umsatz bei steigender Geschwindigkeit. Eine deutliche Einwirkung der Schneebeschaffenheit ist ersichtlich. Besonders tritt dies schön bei einem Vergleich der beiden Versuchsreihen an E. S. hervor. Für G. L. geben einige der Versuche mit niedriger Geschwindigkeit am 14. Februar bemerkenswert hohe Werte. Die Versuchsperson, die dann die Spur nicht früher geprüft hatte, glitt mehrmals während dieser Versuche ab, wodurch das Ergebnis wahrscheinlich verschlechtert wurde. Pro Kilogramm

[1] Bei diesen Versuchen wurde jeder vierte Stockstoß als Stavhugg ausgeführt, im übrigen kam alternierende Stockführung vor.

und Meter in gewöhnlicher Weise berechnet, ist der O_2-Verbrauch während der Tage mit guter Bahn von ähnlicher Größe wie beim Laufen oder etwas größer, während er regelmäßig ziemlich viel größer bei schlechter Bahn ist. In den meisten Versuchsreihen an G. L. ist eine ausgesprochene, wenn auch nicht ganz regelmäßige Vermehrung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter bei steigender Geschwindigkeit, am deutlichsten bei der schlechteren Bahn vorhanden. Auch in der ersten Reihe an E. S. findet man diese Vermehrung, während sie dagegen nicht in den späteren Versuchen (bei besserer Bahn) vorliegt. Zwischen den am selben Tage an den verschiedenen Versuchspersonen gefundenen Werten treten bemerkenswerte individuelle Schwankungen hervor. N. S. zeigt in der Regel bei niedrigen Geschwindigkeiten höheren oder ebenso hohen Verbrauch pro Kilogramm und Meter wie G. L. und E. S. Bei größeren Geschwindigkeiten liegen dagegen die Verhältnisse bei N. S. am günstigsten. Für E. S. war die Zahl der Stockstöße wesentlich größer als bei N. S.

Die höchsten Werte des Umsatzes, die von diesen Versuchspersonen erreicht wurden, sind für G. L. 2805 und für E. S. 3484 ccm O_2 pro Minute; beide Werte liegen höher als beim Laufen. Daß beim Skilaufen im Gelände der Umsatz zeitweise sehr hoch sein dürfte, ist wahrscheinlich, wenn man bedenkt, daß die relative Ruhe beim Skilaufen bergab den Läufer befähigt, mit erneuten Kräften fortzusetzen. Für N. S. und G. L. liegen Beobachtungen vom Schwimmen vor, aus denen hervorgeht, daß der Umsatz bei maximaler Geschwindigkeit unter den dann herrschenden Bedingungen etwa 2800 bzw. 2100 ccm pro Minute betrug. Die Versuche dauerten inklusive Vorperiode 2 bis 3 Minuten, d. h. etwa wie die oben angeführten Versuche, da aber ein Umsatz von 3750 bzw. 2800 ccm pro Minute, d. h. etwa $1/3$ mehr erreicht wurde. Es kann also kein Zweifel sein, daß die Grenze beim Schwimmen viel früher erreicht wird. Gewiß hängt dies damit zusammen, daß die Herzarbeit beim Schwimmen bei einem gewissen Gesamtumsatz des Körpers viel größer als am Lande wird, indem teils das Minutenvolumen des Herzens schneller beim Schwimmen steigt[1], teils auch der Blutdruck dort höher wird.[2]

Blix[3] hat den Zusammenhang zwischen maximalen Arbeitsleistungen und der Zeit näher untersucht und gibt für 5 bis 2 Minuten

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 47.
[2] *Ebenda.* 1919. Bd. XXXIX. S. 64.
[3] *Ebenda.* 1904. Bd. XV. S. 122.

eine Maximalleistung von 20 kgm pro Sekunde (für starke Leute während 5 Minuten), bis 22 bis 30 kgm pro Sekunde (während 2 Minuten für normale Leute) an. Bei einem Wirkungsgrad von 25 Proz. und einem Quotienten von etwa 0·85 entspricht dies 2300 bis 3500 ccm O_2 pro Minute. Unsere Werte stimmen damit gut überein.

Kapitel 6.

Respirationsversuche beim Schlittschuhlaufen.

Frühere Beobachtungen über den Gaswechsel beim Schlittschuhlaufen haben wir nicht finden können. In unseren Versuchen, die an N. S. und E. S. ausgeführt wurden, kamen lange Schlittschuhe, sog. Militärmodell, zur Anwendung. Am ersten Versuchstag, 23. Februar, war das Eis gut, aber von einer einige Zentimeter dicken Schicht frisch gefallenen Schnees bedeckt. Am folgenden Tage schmolz indessen der Schnee fort, und da es am selben Abend kalt wurde, wurde die Bahn am 25. Februar sehr gut. Am nächsten Tage herrschten in dieser Hin-

Tabelle 23.

Respirationsversuche beim Schlittschuhlauf.

Versuchsperson: N. S. (Gewicht brutto: 95 kg).

Versuchstag	Versuchsdauer in Min.	Geschwindigkeit m p. Min.	Schritte pro Min.	Länge der „Schritte“ m	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr. Min.	CO_2-Abgabe ccm pr. Min.	O_2-Aufnahme ccm pr. Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
23./2.	1·9	203	37·4	5·43	18·7	27·4	1444	1871	0·77	0·084
	1·8	211	40	5·28	20·0	28·3	1447	1874	0·77	0·081
	1·5	258	57·6	4·48	23·8	35·0	1764	2223	0·79	0·081
	1·4	280	50	5·60	25·0	42·0	2117	2542	0·83	0·086
	1·3	304	56	5·42	28·0	50·9	2462	2966	0·83	0·094
	1·1	342	59·4	5·76	29·7	54·1	2805	3059	0·92	0·086
25./2.	1·7	219	39·2	5·60	19·6	26·8	1285	1577	0·82	0·064
	1·7	222	35	6·35	17·5	25·4	1298	1628	0·80	0·066
	1·7	230	45·3	5·08	15·1	26·4	1270	1621	0·78	0·063
	1·5	248	51	4·87	17·0	29·5	1446	1842	0·79	0·068
	1·4	266	46·2	5·76	23·1	34·4	1693	2110	0·80	0·074
	1·3	283	55·8	5·07	18·6	31·8	1624	2022	0·80	0·066
	1·3	285	45	6·34	22·5	36·6	1717	2101	0·82	0·069
	1·3	287	51·4	5·58	25·7	38·3	1921	2140	0·90	0·070
	1·2	313	54·4	5·75	27·2	49·5	2217	2480	0·89	0·075
	1·2	319	55·4	5·76	27·7	44·8	2156	2586	0·83	0·077
	1·2	328	58·6	5·60	29·3	47·4	2380	2783	0·86	0·082
	1·1	339	58·8	5·76	29·4	49·8	2482	2965	0·84	0·084

Tabelle 24.

Respirationsversuche beim Schlittschuhlauf.

Versuchsperson: E. S. (Gewicht brutto: 70·5 kg).

Versuchs-tag	Versuchs-dauer in Min.	Geschwindig-keit m p. Min.	Schritte pro Min.	Länge der „Schritte“ m	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr. Min.	CO_2-Abgabe ccm pr. Min.	O_2-Aufnahme ccm pr. Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro kg u. m
26./2.	1·8	211	49	4·31	24·5	20·9	953	1151	0·83	0·063
	1·7	221	45·4	4·87	22·7	16·2	882	1192	0·74	0·063
	1·5	246	48	5·13	24·0	22·0	1119	1473	0·76	0·073
	1·4	279	50	5·58	25·0	31·8	1476	1743	0·85	0·078
	1·3	302	55·6	5·43	27·8	37·4	1842	2037	0·91	0·086
	1·2	325	—	—	—	42·4	1827	2326	0·79	0·092
	1·2	330	55·4	5·96	27·7	30·7	1564	1871	0·84	0·072
	1·2	330	60·8	5·43	30·4	42·6	1963	2227	0·88	0·087
	1·1	346	54·4	6·37	27·2	39·8	1919	2015	0·95	0·074
	1·1	353	63·2	5·58	31·6	49·6	2294	2383	0·96	0·087
	1·0	364	65·2	5·58	32·6	45·0	2094	2378	0·88	0·085
	1·0	368	—	—	—	51·9	2252	2527	0·89	0·089

sicht dieselben Verhältnisse. Es ist deshalb kein Zweifel darüber, daß die Reibung am ersten Versuchstage am größten war. Ein Maß der Reibung in Übereinstimmung mit den Bestimmungen beim Skilaufen konnten wir aber nicht erhalten, da sie gar zu unbedeutend war, um in dieser Weise mit genügender Genauigkeit bestimmt werden zu können.

Die Versuche, in den Tab. 23 und 24 mitgeteilt, zeigen für beide Versuchspersonen einen typischen Zusammenhang zwischen Atmungsfrequenz und Zahl der Schritte. Für E. S. wird regelmäßig ein Atemzug für jeden zweiten Schritt erhalten, für N. S. findet man entweder dasselbe Verhalten oder auch in einigen Fällen einen Atemzug für jeden dritten Schritt. Gleichzeitig mit den Schritten finden ja ziemlich kräftige Armbewegungen statt, die wahrscheinlich hier — wie beim Skilaufen — die Ursache dieser Übereinstimmung des Rhythmus sind. Da die Zahl der Schritte regelmäßig mit der Geschwindigkeit zunimmt, entsteht bei E. S. eine regelmäßige Steigerung der Atmungsfrequenz. Bei N. S. ist die Steigerung nicht so regelmäßig. Die Ventilation steigt ebenso, in beiden Fällen sehr regelmäßig, mit dem Umsatz. Die Größe der Atemzüge steigt ebenfalls bei beiden mit dem Umsatz, bei N. S. von 1660 bis 2200 (37°), bei E. S. von 865 bis 1900 ccm (37°). Der respiratorische Quotient ist nur ausnahmsweise besonders hoch.

Der O_2-Verbrauch ist bei dem langsamsten Eislauf etwa wie beim schnellen Gehen und steigt im großen ganzen regelmäßig mit der Geschwindigkeit. Die höchsten Werte, 2965 ccm für N. S. und 2527 ccm für E. S., stellen nicht die größtmöglichste Leistung der Versuchspersonen vor. Die Bedeutung der Beschaffenheit des Eises geht bei einem Vergleich der beiden Reihen an N. S. deutlich hervor. Pro Kilogramm und Meter berechnet, zeigt der O_2-Verbrauch einen sehr niedrigen Wert auf, weniger als die Hälfte der entsprechenden Zahlen beim schnellen Gehen oder beim Laufen. Die Werte sind etwas höher als die von L. Zuntz[1] beim Radfahren gefundenen. Die Ursache des niedrigen Umsatzes pro Kilogramm und Meter ist offenbar darin zu suchen, daß jeder Schritt, dank der unbedeutenden Reibung, eine sehr bedeutende Verschiebung verursacht, viel größer als beim Laufen. Die Zahl der Schritte wird ja die ganze Zeit so niedrig als 40 bis 65 pro Minute gehalten, d. h. etwa die Hälfte der beim Gehen gemachten. Dabei wird aber die horizontale Verschiebung pro Schritt („Schrittlänge") 4·3 bis 6·4 m, d. h. drei- bis viermal so groß wie beim Laufen. Berechnet man den Umsatz pro Schritt (nach Abzug des Ruhewertes), so findet man dagegen wesentlich mehr (etwa zwei- bis viermal so viel) beim Schlittschuhlaufen als beim Laufen. Dies ist auch gut verständlich, wenn man bedenkt, daß jedesmal, wenn der Körper Fahrt erhält, große Kraft gebraucht wird.

Mit vermehrter Geschwindigkeit tritt eine gewisse Vermehrung des Umsatzes pro Kilogramm und Meter ein. Wahrscheinlich geht diese Steigerung schneller bei E. S. als bei N. S., was vielleicht damit zusammenhängen dürfte, daß der erstere im Verhältnis zum Körpergewicht eine relativ größere Oberfläche aufweist. Die erwähnte Steigerung dürfte nämlich zu einem wesentlichen Teil auf die Überwindung des vermehrten Luftwiderstandes kommen. Da die Oberfläche und die Geschwindigkeit etwa dieselben wie beim Radfahren und Eislauf sind, ist zu erwarten, daß der Luftwiderstand im großen ganzen sich ähnlich verhalten wird. Nach L. Zuntz kam bei langsamer Geschwindigkeit (148 m pro Minute) $^1/_{17}$ des Umsatzes auf die Überwindung des Luftwiderstandes, während bei mittlerer Geschwindigkeit (252 m pro Minute) $^1/_6$ und bei großer (355 m pro Minute) $^1/_4$ des Umsatzes zu diesem Zweck verbraucht wurden.

---

[1] L. Zuntz, *Untersuchungen über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers.* Berlin 1899.

Zuletzt teilen wir in der folgenden Tabelle eine Übersicht des O_2-Verbrauchs bei verschiedenen Arten der horizontalen Bewegung mit.

Tabelle 25.

O_2-Verbrauch pro Kilogramm und Meter bei einigen verschiedenen Arten von horizontaler Bewegung.

Art der Bewegung	Geschwindigkeit m pro Min.	Gewicht der Versuchsperson kg (Brutto)	Zahl der Versuchspersonen	O_2 pro kg u. m (ccm)
Gehen	70	58·0—87	2	0·10—0·11
,, ...	90	58·0—87	2	0·11—0·13
,, ...	115	58·0—87	2	0·15—0·17
Laufen	150	58·0—82	3	0·18—0·21
,, ...	200	58·0—82	3	0·15—0·18
,, ...	250	58·0—82	3	0·14—0·15
Skilaufen	120	67·0—100	3	0·16—0·21
,, ...	150	67·0—100	3	0·15—0·22
,, ...	200	67·0—100	3	0·15—0·20
,, ...	225	67·0—100	3	0·15
Schlittschuhlaufen .	200	70·5—95	2	0·08
,, .	250	70·5—95	2	0·07—0·08
,, .	300	70·5—95	2	0·07—0·09
,, .	350	70·5—95	2	0·09
Radfahren[1]	150	94	1	0·05
,, ...	250	94	1	0·05
,, ...	350	94	1	0·06
Schwimmen[2] . . .	20	51·5—90·5	2	0·31—0·82
,, . . .	30	51·5—90·5	2	0·40—0·82
,, . . .	50	51·5—90·5	2	0·54—0·82

Zusammenfassung.

An drei Versuchspersonen wurden zahlreiche Respirationsversuche beim Gehen, Laufen, Ski- und Schlittschuhlauf ausgeführt. Im Zusammenhange damit wurden auch Ruheversuche ausgeführt.

Der respiratorische Gaswechsel während Ruhe zeigte bei einer Versuchsperson gleichzeitig mit Änderungen des Körpergewichts be-

[1] L. Zuntz, a. a. O.

[2] Liljestrand u. Stenström, *Dies Archiv.* 1915. Bd. XXXIX. S. 1.

merkenswerte Änderungen. Eine Reduktion des Körpergewichts mit 16 Proz. — wahrscheinlich wesentlich eine Änderung des Fettvorrats — wurde von einer Erniedrigung des Gaswechsels um 8 Proz. begleitet. Der Umsatz pro Kilogramm und Minute stieg gleichzeitig von 2·85 auf 3·10 ccm O_2. Beim Stehen mit schlaffer Haltung wurde eine gewisse Vermehrung (11, später 8·5 Proz.) gegenüber des Wertes in sitzender Stellung gefunden. Nach einiger Trainierung, möglichst ruhig zu stehen, schwand dieser Unterschied.

In besonderen Versuchsreihen wurde gefunden, daß eine Vorperiode von 1 Minute auch beim schnellen Lauf genügend war, um bei den Versuchspersonen konstante Verhältnisse herbeizuführen.

Respirationsversuche beim Gehen, zum Vergleich mit älteren Beobachtungen abgesehen, ergaben mit diesen gut übereinstimmende Werte.

Beim Laufen mit Geschwindigkeiten von 134 bis 299 m pro Minute zeigte sich eine allmählich zunehmende Atmungsfrequenz, etwas verschieden bei den verschiedenen Versuchspersonen. Das Maximum war 45 Atemzüge pro Minute. Auch die Ventilation stieg, im großen ganzen (bis zu etwa 80 l pro Minute). Der respiratorische Quotient stieg mit dem Umsatz und erreichte bei größeren Geschwindigkeiten über 1.

Der O_2-Verbrauch stieg auch, im großen ganzen, mit der Geschwindigkeit. Pro Kilogramm und Meter berechnet (nach Abzug des Ruhewertes), hält er sich bei geringer Geschwindigkeit (etwa 150 m pro Minute) um etwa 0·18 bis 0·2 ccm, sinkt aber etwas bei vermehrter Geschwindigkeit, wenigstens bis 250 m pro Minute. Der größere Umsatz pro Kilogramm und Meter bei den geringen Geschwindigkeiten hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß die Erhebung des Schwerpunktes des Körpers dabei relativ bedeutend sowohl pro Meter Weg wie auch pro jeden Schritt werden dürfte.

Die Vermehrung der Geschwindigkeit beim Laufen geschah ausschließlich oder wesentlich durch Verlängerung des einzelnen Schrittes, während die Zahl der Schritte nicht oder nur wenig vermehrt wurde.

Beim Skilauf zeigte sich, daß die Frequenz der Atemzüge in intimem Zusammenhange mit den rhythmischen Arm- und Beinbewegungen stand. Damit hängt auch zusammen, daß die Atmungsfrequenz nur selten so hohe Werte wie beim Laufen erreichte. Der respiratorische Quotient stieg auch hier mit vermehrtem Umsatz, jedoch gar nicht so viel wie beim Laufen, obgleich der Umsatz beim Skilauf sogar höhere

Werte als beim Laufen erreichte. Der O_2-Verbrauch, der natürlich wesentlich von der Beschaffenheit des Schnees abhängt, war von etwa derselben Größe wie beim Laufen.

Auch beim Schlittschuhlauf war ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Atembewegungen und den rhythmischen Extremitätbewegungen zu finden. Der O_2-Verbrauch pro Kilogramm und Meter war etwa halb so groß wie beim Laufen oder Skilauf. Bei vermehrtem Umsatz wurde eine Steigerung des Verbrauchs pro Kilogramm und Meter beobachtet.

Blutdruck und Pulsfrequenz beim Gehen und Laufen auf horizontaler Bahn.[1]

Von

G. Liljestrand und N. Stenström.

(Aus dem Physiologischen Laboratorium des Karolinischen Mediko-chirurgischen Instituts Stockholm.)

Im Zusammenhang mit soeben mitgeteilten Respirationsversuchen[2] beim Gehen und Laufen im Stockholmer Stadion haben wir in besonderen Versuchsreihen an zwei Versuchspersonen, N. S. (Gewicht brutto 85 kg) und G. L. (Gewicht brutto 55 kg) im Mai 1918 die Schwankungen des Blutdrucks und der Pulsfrequenz unter entsprechenden Verhältnissen näher studiert.

Hinsichtlich der Methodik haben wir in bereits früher angegebener Weise[3] graphische Registrierung mit elastischem Manometer benutzt. Sämtliche Versuche wurden am Morgen in nüchternem Zustande ausgeführt. Der Ruhewert wurde jeden Versuchstag in bequemer stehender Stellung bestimmt, die die Versuchsperson während wenigstens 3 Minuten — mit einer vorangehenden Ruheperiode von 10 Minuten im Sitzen — eingenommen hatte; während der ganzen Zeit war die Blutdruckmanschette um den Arm befestigt. Während der Arbeit Druck und Frequenz zu bestimmen, war mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich; wir haben aber in folgender Weise versucht, die Zeit möglichst zu verkürzen, die zwischen dem Aufhören der Arbeit und der Registrierung des Blutdruckes verfloß. Die Versuchsperson trug die ganze Zeit die Manschette um den Arm und ging so — bei den Gehversuchen — mit bestimmter Geschwindigkeit einen Umlauf der Bahn. Bei den Laufversuchen mit ihrer bedeutenden Anstrengung konnte sie nicht

---

[1] Der Redaktion am 6. November 1919 zugegangen.

[2] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 167.

[3] G. Liljestrand u. N. Stenström, *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 48.

immer die gewünschte Geschwindigkeit während eines Umlaufs innehalten, und es wurde deshalb der erste Teil der Bahn in etwas langsamerem Tempo zurückgelegt und die Schlußgeschwindigkeit wurde nur während etwa einer Minute angewendet. Beim Passieren der Grenzen der 100-Meterbahn markierte die Versuchsperson mit Stoppuhr die Zeit zur Zurücklegung dieser Strecke und setzte so mit unveränderter Geschwindigkeit etwa 20 m weiter zum Tische fort, wo die Instrumente standen und der Versuchsleiter auf sie wartete. Dieser brachte dann schnell den Schlauch des Manometers mit dem der Manschette in Verbindung und pumpte Luft in die Leitung. Wie wir uns durch graphische Registrierung der Zeit mehrmals überzeugten, verfloß selten und dann nur wenig mehr als 10 Sekunden zwischen der Ankunft der Versuchsperson und der Messung des Maximaldruckes. In der Regel haben wir das von Erlanger und Hooker[1] angegebene Verfahren mit stufenweiser Senkung des Druckes um etwa 5 mm jedesmal benutzt. Hierdurch treten die Veränderungen der Größe und Form der Pulszacken viel deutlicher hervor, was die Ablesung der Kurven wesentlich erleichtert. Die Pulsfrequenz ist für die ersten 10 Sekunden der Registrierung bestimmt worden.

Die Tatsache, daß wir nicht imstande gewesen sind, unsere Messungen eher als 10 Sekunden nach dem Aufhören der Arbeit auszuführen, bringt mit sich, daß die angegebenen Werte wahrscheinlich für die betreffende Arbeitsleistung ein wenig zu klein sind, und deshalb als Minimalwerte angesehen werden müssen.

Das Ergebnis der Versuche wird in den Tabellen 1 und 2 mitgeteilt, und in den Tabellen 3 und 4 sind die Versuche in Gruppen nach der Geschwindigkeit zusammengeführt. In einer besonderen Reihe wird der annähernde O_2-Verbrauch angegeben, nach den Zahlen der früheren Arbeit berechnet.

Während der Ruhe zeigt N. S. einen Blutdruck, der von Tag zu Tag zwischen 121 und 130 mm Hg für den Maximaldruck und zwischen 83 und 95 mm Hg für den Minimaldruck schwankt, und eine Pulsfrequenz von 60 bis 84. Für G. L. sind die entsprechenden Werte 108 bis 122 bzw. 80 bis 96 für den Blutdruck und 47 bis 68 für die Pulsfrequenz. Die Schwankungen der Werte beziehen sich wesentlich auf die verschiedenen Tage und dürften zum größten Teil von Schwankungen in der Vollständigkeit der Ruhe und von psychischen Beeinflussungen, die nie vollständig eliminiert werden können, abhängen.

[1] Erlanger u. Hooker, *Johns Hopkins Hosp. Rep.* 1904. Bd. XII. 145.

Tabelle 1. Blutdruck und Pulsfrequenz.
Versuchsperson: N. S. — (Gewicht: 85 kg brutto.)

Versuchstag	Geschwindigkeit m pro Min.	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsfrequenz pro Minute
Ruhig stehend.				
25. Mai		125	85	63
,,		123	88	64
,,		128	90	60
27. Mai		122	90	72
,,		122	92	77
,,		128	92	82
,,		122	94	84
28. Mai		126	95	78
,,		130	90	78
29. Mai		121	86	79
,,		122	83	81
30. Mai		123	83	67
,,		128	86	70
Gehend				
28. Mai	73	126	92	88
,,	73	128	95	—
27. Mai	80	135	95	92
,,	81	135	95	89
,,	81	133	95	85
,,	82	138	98	91
28. Mai	94	136	94	—
27. ,,	95	133	93	100
25. ,,	95	126	95	78
,,	96	128	95	85
27. Mai	96	133	94	88
,,	96	143	90	97
28. Mai	96	135	98	94
,,	100	140	93	106
,,	104	138	93	89
25. Mai	106	135	102	72
,,	106	136	100	93
28. Mai	114	140	96	108
,,	116	142	93	107
25. Mai	119	150	106	—
29. ,,	120	136	94	96
25. ,,	120	152	108	—
29. ,,	125	152	95	120
Laufend				
29. Mai	179	156	100	133
30. ,,	190	167	95	122
29. ,,	220	166	103	147
30. ,,	244	165	96	137
,,	246	175	103	140
27. Mai	250	175	105	137
25. ,,	261	170	100	175
28. ,,	261	170	100	140
25. ,,	264	159	105	162
,,	264	165	103	169
,,	266	158	104	—
29. Mai	269	158	100	146
,,	279	156	102	145

Tabelle 2.
Blutdruck und Pulsfrequenz.
Versuchsperson: G. L. — (Gewicht: 55 kg brutto).

Versuchstag	Geschwindigkeit m pro Min.	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsfrequenz pro Minute
Ruhig stehend				
25. Mai		120	90	47
,,		122	96	61
,,		120	90	54
29. Mai		115	90	61
,,		111	85	66
,,		110	83	61
30. Mai		114	87	54
,,		116	88	66
,,		118	88	61
31. Mai		108	80	56
,,		108	83	68
Gehend				
29. Mai	63	118	83	59
25. ,,	86	120	87	59
,,	92	121	91	54
,,	106	123	85	61
,,	106	128	85	67
29. Mai	127	130	90	93
25. ,,	131	128	87	86
,,	131	122	85	97
Laufend				
31. Mai	175	145	92	114
,,	175	120	90	120
,,	181	133	90	98
,,	186	135	90	120
,,	191	130	80	120
,,	191	133	90	118
30. Mai	217	123	93	130
29. ,,	233	138	100	139
30. ,,	234	133	92	121
,,	238	133	100	144
25. Mai	244	—	—	144
30. ,,	246	135	95	131
29. ,,	260	135	96	121
,,	261	136	95	139
,,	261	138	90	133

Beim Gehen sind Geschwindigkeiten zwischen 63 und 131 m pro Min. in 23 Versuchen an N. S. und 8 an G. L. untersucht worden.

Von kleineren Unregelmäßigkeiten abgesehen, haben wir dabei eine Steigerung sowohl des Blutdrucks (Maximal- und Minimaldrucks) als auch der Pulsfrequenz gefunden. Die Steigerung des Maximaldrucks

Tabelle 3.
Zusammenstellung der Blutdruckversuche.
Versuchsperson: N. S.

	Geschwindigkeit m pro Min.	Geschwindigkeit Mittel m pro Min.	Zahl der Versuche	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsdruck mm Hg	Pulsfrequenz pro Min.	O_2-Verbrauch ccm pro Min.
Stehend			13	124·6	88·8	35·8	73·8	270
Gehend	70— 85	78·3	6	132·5	95·0	37·5	88·8	1010
	85—100	95·3	7	134·2	94·1	40·1	92·4	1330
	100—130	113·0	10	142·3	98·6	43·7	94·8	1860
Laufend	175—200	184·5	2	161·5	97·5	64·0	127·2	3120
	200—250	236·6	3	168·6	101·7	66·9	141·3	3390
	250—280	264·3	8	164·0	102·4	61·6	153·4	3650

Tabelle 4.
Zusammenstellung der Blutdruckversuche.
Versuchsperson: G. L.

	Geschwindigkeit m pro Min.	Geschwindigkeit Mittel m pro Min.	Zahl der Versuche	Maximaldruck mm Hg	Minimaldruck mm Hg	Pulsdruck mm Hg	Pulsfrequenz pro Min.	O_2-Verbrauch ccm pro Min.
Stehend			11	114·7	87·3	27·4	59·4	215
Gehend	60—85	63·0	1	118·0	83	35	58·8	530
	85—100	89·0	2	120·5	89	31·5	56·4	740
	100—131	120·2	5	126·0	86·4	39·6	82·8	1180
Laufend	175—200	183·2	6	132·7	88·7	44·0	115·2	1825
	200—250	235·3	6	132·4	96	36·4	134·8	2050
	250—261	260·7	3	136·3	93·6	42·7	131·0	2150

vollzieht sich aber ein wenig schneller als die des Minimaldrucks, weshalb eine Steigerung des Pulsdrucks erhalten wird.

N. S. zeigt bei einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 78 m pro Min. (einem O_2-Verbrauch von 1010 ccm pro Min. für diese Versuchsperson entsprechend) einen Maximaldruck von 133 mm Hg, einen Minimaldruck von 95 mm und eine Pulsfrequenz von 89 pro Min. Wird die Geschwindigkeit erhöht, steigen sämtliche Werte und erreichen bei der mittleren Geschwindigkeit 113 m pro Min. (1860 ccm O_2 entsprechend) die Werte 142 bzw. 99 und 95. Eine Erhöhung des Maximaldrucks um 9·8 und des Pulsdrucks um 6·2 mm wurde also erreicht, während die Pulsfrequenz um 6 Schläge und der O_2-Verbrauch um 850 ccm pro Min. stiegen.

Der erheblich kleinere und schlankere G. L. zeigt bei einer mittleren Geschwindigkeit von 80 m pro Min. (Gruppe 1 und 2), einem O_2-Verbrauch von 670 ccm entsprechend, einen Blutdruck von 120 bzw. 87 und eine Pulsfrequenz von 57. Seine Werte werden bei der Geschwindigkeit 120·2 m pro Min. (1180 ccm O_2 entsprechend) auf 126 bzw. 86 und 83 gesteigert. Das heißt, auf eine Steigerung des Umsatzes mit 510 ccm O_2 pro Min. kommt eine Erhöhung des Maximaldrucks um 6 mm und des Pulsdrucks um 6 mm, während die Pulsfrequenz gleichzeitig um 26 Schläge pro Min. erhöht wird.

Der Mechanismus der geänderten Herzarbeit beim Gehen mit steigender Geschwindigkeit innerhalb der angegebenen Grenzen ist also bei den beiden Versuchspersonen ziemlich verschieden, da N. S. nur unbeträchtlich (im ganzen 29 Proz.), aber ziemlich regelmäßig seine Pulsfrequenz über den Ruhewert erhöht, während G. L. zuerst gar keine, dann aber eine Steigerung der Frequenz um nicht weniger als 44 Proz. zeigt. Hiermit im Zusammenhang steht vermutlich, daß G. L. bei den Ruheversuchen eine Frequenz um weniger als 60, bei N. S. dagegen um 74 hat. Es verhält sich vielleicht so, daß bei G. L. eine ziemlich „adäquate" Füllung des Herzens erst bei einem Stoffwechsel von etwas mehr als 740 ccm pro Min. stattfindet. Danach muß die Steigerung des Minutenvolumens mit Erhöhung der Pulsfrequenz geschehen. Bei N. S. dagegen findet die entsprechende Füllung bei einer geringeren Geschwindigkeit statt, weil der absolute Stoffwechsel hier viel größer als bei G. L. ist.

Während also in den drei Versuchen mit langsamem Gehen die Pulsfrequenz bei G. L. keine sichere Änderung gegenüber dem Ruhewerte zeigt, steigt sie in sämtlichen anderen Fällen bei ihm und N. S., wie dies ja auch bei anderer Arbeit so oft geschieht. Benedict und Murschhauser[1] haben ihrerseits in zwei Versuchen die Pulsfrequenz beim Gehen niedriger als beim Stehen gefunden (die gleiche Erfahrung soll nach ihnen Monmouth Smith gemacht haben, a. a. O. S. 85). Ihre Werte für die Pulsfrequenz beim Stehen sind indessen so äußerst unregelmäßig und oft so auffällig hoch, daß man als sehr wahrscheinlich bezeichnen darf, daß störende Einflüsse psychischer oder anderer Art wenigstens in den Ruheversuchen vorgekommen sind.

Beim Laufen mit Geschwindigkeiten zwischen 175 und 280 m pro Min. liegen bei N. S. 13 und bei G. L. 15 Versuche vor.

---

[1] Benedict u. Murschhauser, *Energy transformations during horizontal walking.* Carn. Inst. 1915.

Die höchste Geschwindigkeit beim Gehen und die kleinste beim Laufen sind so wesentlich verschieden. daß sie nicht direkt verglichen werden können.

Bei N. S. erreicht der Blutdruck bei der Geschwindigkeit 184·5 m pro Min. (3120 ccm O_2 entsprechend) die Werte 161·5 bzw. 97·5 und der Puls 127. Seinen maximalen Wert erreicht der Blutdruck bei einer Geschwindigkeit von etwa 250 m (O_2-Verbrauch 3390 ccm), wo Drucke von 175 bzw. 105 mm beobachtet werden (s. Tabelle 1), während bei der höchsten Geschwindigkeit der Druck wieder ein wenig sinkt. Die Pulsfrequenz steigt doch fortwährend und erreicht bei einer mittleren Geschwindigkeit von 264·3 m pro Min. den Wert 153. Bei diesen größten Geschwindigkeiten sind keine Respirationsversuche gemacht worden: der Umsatz dürfte aber auf etwa 3650 ccm O_2 pro Min. berechnet werden können. Wird mit den Werten bis zum Erreichen des Maximums gerechnet (Tabelle 1), so kommt auf eine Steigerung des O_2-Verbrauchs um etwa 380 ccm eine Erhöhung des maximalen Blutdrucks um 11 mm und des Pulsdrucks um 6 mm, während die Pulsfrequenz gleichzeitig mit etwa 21 Schlägen gesteigert wird.

G. L. zeigt bei einer mittleren Geschwindigkeit von 183·2 m pro Min. (1825 ccm O_2 entsprechend) einen Blutdruck von 133 bzw. 89 und eine Pulsfrequenz von 115. Danach steigen beide ununterbrochen bis zum Erreichen der größten untersuchten Geschwindigkeit (261 m pro Min.), die bei dieser Versuchsperson nicht die maximale war. und erreichen dann (entsprechend 2150 ccm O_2) die Werte 136 bzw. 94 und 131. Bei einer Erhöhung des Umsatzes um 325 ccm O_2 pro Min. steigt also in diesem Falle der Maximaldruck um 4 mm und die Pulsfrequenz um 16 Schläge. Der Pulsdruck verhält sich etwas unregelmäßig, scheint aber um einige Millimeter vermindert zu werden.

Der Blutdruck wird also auch beim Laufen bei N. S. schneller gesteigert als bei G. L. (auch im Verhältnis zum Umsatz), während die Steigerung der Pulsfrequenz an beiden Versuchspersonen mehr parallel als beim Gehen läuft. Sämtliche absoluten Werte sind bei N. S. mit seinem umfangreicheren Körper beträchtlich höher als bei G. L. Dies gilt auch für die Ruhewerte.

Vergleicht man bei N. S., wo die Steigerung speziell betreffs der Pulsfrequenz am regelmäßigsten ist, die Werte beim Gehen und Laufen gegenseitig, so findet man bei gleicher Steigerung des Umsatzes eine größere Steigerung des Blutdrucks und der Pulsfrequenz beim Laufen als beim Gehen.

Die beim Laufen gefundenen Maximalwerte des Blutdrucks sind bei N. S. von derselben Größenordnung als diejenigen, die wir früher beim Schwimmen fanden. Beim Schwimmen entsprechen jedoch diese höchsten Werte einem beträchtlich kleineren Umsatz, nämlich 2300 ccm O_2 pro Min. Beim Schwimmen wurde bei einer Vermehrung des Umsatzes um 1200 ccm O_2 eine Steigerung des Maximaldruckes um 12 mm Hg erhalten: die Steigerung beim Schwimmen scheint also langsamer als beim Gehen oder Laufen vor sich zu gehen, doch ist im Wasser der Blutdruck schon vorher beträchtlich erhöht. Die Steigerung der Pulsfrequenz erreichte im Wasser nicht denselben hohen Grad wie zu Lande (maximale Werte 119 bzw. 175.)

G. L. hat beim Schwimmen, wo die Anstrengung sich mehr der oberen Grenze der Leistungsfähigkeit näherte, absolut höhere Werte sowohl des Blutdrucks als der Pulsfrequenz erreicht als beim Laufen Im übrigen dürften die Verhältnisse ähnlich wie bei N. S. liegen. Auch hier sind für denselben Umsatz die Steigerungen größer am Lande.

Zusammenfassung.

Blutdruck und Pulsfrequenz zeigten bei zwei Versuchspersonen beim Gehen und Laufen eine mit dem vermehrten Umsatz zunehmende Steigerung. Die höchsten gefundenen Werte waren für den Maximaldruck etwa 140 bzw. 127 Proz. des Ruhewertes: für Pulsdruck und Pulsfrequenz waren die entsprechenden Werte 187 und 161 bzw. 237 und 227 Proz.

Zur Physiologie des Ruderns.[1]

Von

G. Liljestrand und J. Lindhard.

(Aus der zoologischen Station Kristineberg, Bohuslän.)

Die folgenden Untersuchungen beabsichtigen vor allem, zwei Fragen zu beleuchten, die, wie es scheint, früher nicht Gegenstand des Studiums gewesen sind, nämlich teils betreffs der Größe des respiratorischen Gaswechsels beim Rudern unter gewöhnlichen Verhältnissen, d. h. ohne daß ein besonderes Rennboot zur Verwendung kommt, teils auch über das Minutenvolumen des Herzens während entsprechender Verhältnisse.

Kapitel 1.

Der respiratorische Gaswechsel.

An sämtlichen Versuchspersonen wurde in gewöhnlicher Weise der respiratorische Gaswechsel während Ruhe in der Arbeitsstellung (sitzend im Boot oder sitzend ohne Rückenlehne im Laboratorium) bestimmt. Nach langer Vorperiode wurden dabei Versuche von etwa 5 Minuten Dauer mit Anwendung des Douglassackes ausgeführt. Die Mehrzahl der Ruheversuche wurden in nüchternem Zustande ausgeführt; da aber später Versuche mit Rudern auch mehrere Stunden nach einer Mahlzeit stattfanden (vgl. unten), war es wünschenswert, gleichfalls einige entsprechende Ruheversuche zu haben. — Die Versuchspersonen waren vier, nämlich G. L., 32 J., 49·9 kg, J. L., 48 J., 60·5 kg, S. R., 22 J., 66 kg, Fräulein A. H., 31 J., 51·7 kg.

Beim Studium des respiratorischen Gaswechsels während des Ruderns benutzten wir einen Kahn von mittlerer Größe (Fig. 4), in dem außer dem Ruderer auch der Versuchsleiter Platz nahm. Die

---

[1] Der Redaktion am 6. November 1919 zugegangen.

Versuchsperson gebrauchte zwei Ruder. Sie atmete in gewissen Fällen — für G. L. in der Regel, für J. L. in einer kleinen Zahl der Versuche — durch Maske und Ventil; die Exspirationsluft wurde durch einen beweglichen (Harmonika-) Schlauch geleitet, der über die Schulter, wo er fixiert wurde, verlief und weiter zum Douglassack. In den übrigen Fällen wurden Nasenklemme und Mundstück statt Maske gebraucht; außerdem hingen Ventil und Schlauch von einer Art Galgen herunter (vgl. Fig. 4) in der Weise, daß sie in großer Ausdehnung beweglich waren und die Bewegungen hin und her seitens der Versuchsperson während des Ruderns nicht in erwähnenswertem Grade hinderten. Nur bei sehr kräftigem Rudern wurde diese Anordnung in gewissen Fällen als hinderlich für die freie Beweglichkeit empfunden. Am Douglassack war ein Dreiweghahn befestigt, mit dessen Hilfe Verbindung teils mit der freien Luft, teils mit dem Sacke erhalten werden konnte. Zur Zeit der Versuche hatten sämtliche Versuchspersonen durch kurze Ruderfahrten genügende Übung, ohne jedoch im Zustande einer ausgesprochenen Trainierung zu sein. Der nähere Verlauf bei einem Versuch war den früher mitgeteilten Verhältnissen beim Schwimmen[1] vollkommen analog. Die Vorperiode dauerte also etwa 2 bis 3 Minuten — bei maximaler Anstrengung etwas weniger — und während derselben wurde soviel wie möglich mit derselben Geschwindigkeit wie während des Versuchs selbst gerudert; die letzte Strecke in einer Geraden, deren unmittelbare Fortsetzung aus der gemessenen Bahn bestand. Diese war 95 m lang und wurde durch zwei Pfähle im Grunde markiert. Während des Ruderns wurde vom Versuchsleiter gesteuert, so daß die Versuchspersonen ihre ganze Aufmerksamkeit dem Rudern widmen konnte. Beim Passieren der beiden Pfähle wurde am Ende einer Exspiration der Dreiweghahn gedreht, so daß die Exspirationsluft während des Versuchs in den Sack ging. Die Zeit wurde mit Stoppuhr bestimmt. Betreffs Fehlerquellen und Genauigkeit sei auf die früher erwähnte Darstellung hingewiesen. Bei den Versuchen mit Rudern spielen indessen unumgängliche Abweichungen von der geradlinigen Bahn eine weit größere Rolle als beim Schwimmen. Die mittlere Geschwindigkeit während eines Versuchs kann dadurch ziemlich wesentlich beeinflußt werden.

Während der Versuche wurden gewöhnlich die Ruderschläge vom Versuchsleiter gezählt, während der Ruderer selbst die Atemzüge für dieselbe Zeit zählte. Im Anfang fanden die Versuche morgens in nüch-

[1] G. Liljestrand u. N. Stenström, *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 1.

ternem Zustande statt. Dabei herrschte indessen nicht selten etwas Wind, der im folgenden — Tab. 2 — so bezeichnet wird: sv sehr schwacher, v schwacher und vv mäßiger Wind. Die Richtung des Windes wird durch den kleinsten Winkel mit der Längsrichtung der Bahn angegeben, + bedeutet, daß nach Zerlegung in zwei gegeneinander rechtwinklige Komponenten, von denen der eine parallel der Bahn geht, dieser mit dem Rudern weht, — dagegen, daß er gegen die Richtung des Ruderns geht. Gewöhnlich wurde die Bahn nur in der einen Richtung gerudert, in gewissen Fällen (vgl. Tab. 2) wurden jedoch beide Richtungen gebraucht. Da indessen auch der schwache Wind eine ungewünschte Komplikation war, wurden später Versuche — vorzugsweise am Abend — nur bei vollkommener Windstille ausgeführt (= 0). Seit der nächstvorigen Mahlzeit, dem Mittagessen, waren dann gewöhnlich mehrere Stunden verflossen (vgl. die Tabelle 1).

In der Tabelle 1 werden sämtliche Ruheversuche angeführt. Hier wie überall werden die Volumina bei 0°, 760 mm und Trockenheit angegeben, wenn nicht besonders angegeben wird (37°), daß sie auf 37°, 760 mm und mit Feuchtigkeit gesättigt berechnet worden sind.

Ein Vergleich der jetzt gefundenen Werte für den Ruhestoffwechsel mit den früher an denselben Versuchspersonen gewonnenen zeigt folgendes. Für A. H. und S. R. liegen nur wenige Bestimmungen vor: Schlußfolgerungen können kaum mit Sicherheit gezogen werden. Ein Jahr früher waren indessen die Ruhewerte[1] bzw. 188 und 220 ccm O_2 pro Min. (liegend), d. h. im ersten Falle eine Verminderung jetzt um etwa 10 Proz., im zweiten dagegen keine sichere Änderung innerhalb der Fehlergrenzen. Für G. L. liegt dagegen ein großes Vergleichsmaterial vor. Als Durchschnitt von mehr als 70 Versuchen im Jahre 1916 in sitzender Stellung (mit normaler Ventilation) wurde ein O_2-Verbrauch von 196 ccm erhalten.[2] 1917 war das Mittel[1] (liegend) $200 \pm 2 \cdot 9$ ccm, wobei zu bemerken ist, daß der damalige Trainierungszustand möglicherweise den Wert etwas erhöhte. Im Frühling 1918 war der Wert 198[3]; auch dann lag ein gewisser Trainierungszustand vor. Im Juni 1918 war die Versuchsperson sehr müde. Wie ersichtlich, liegt eine unzweifelhafte Abnahme des Umsatzes seit 1916 vor (etwa 10 Proz.). Von Bedeutung bei der Erklärung ist offenbar der gleichzeitige Gewichtsverlust während der Kriegsjahre. 1916 war das Gewicht von G. L. 55 kg, 1917 im Juli

---

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 13.

[2] *Dies Archiv.* 1918. Bd. XXXV. S. 238.

[3] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 176.

Tabelle 1.

Ruheversuche.

Versuchs-person	Versuchs-tag	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pr. Min	CO_2-Abgabe ccm pro Min	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	Mittel der O_2-Aufnahme	Bemerkungen
G. L.	8. Juli	—	4·80	138	164	0·84		Fasten
		—	4·84	149	178	0·84		,,
	12. Juli	10·6	4·91	144	176	0·82		,,
		10·2	5·11	157	187	0·84	176 ± 2·9	,,
		10·7	5·14	157	184	0·85		,,
	15. Juli	9·8	4·99	152	173	0·88		,,
		9·6	4·99	158	173	0·91		,,
	12. Juli	12·0	5·77	186	216	0·86		4 Stunden nach dem Mittag
J. L.	11. Juli	5·7	4·46	170	214	0·79		Fasten
		5·7	4·27	161	204	0·79		,,
		5·4	4·13	157	206	0·76	202 ± 3·1	,,
	13. Juli	5·5	4·02	162	193	0·84		,,
		5·7	4·18	165	198	0·84		,,
		5·7	4·14	168	197	0·85		,,
	12. Juli	6·4	4·81	190	218	0·87		5 Stunden nach dem Mittag
S. R.	18. Juli	13·6	5·55	174	212	0·82		Fasten
		13·0	5·42	186	226	0·82	225 ± 4·4	,,
	20. Juli	12·6	5·49	190	229	0·83		,,
		11·0	5·28	189	232	0·82		,,
A. H.	16. Juli	14·3	5·01	146	172	0·85	170	,,
		13·4	4·81	141	168	0·84		,,

51·5 kg, im August 50·6 kg. Bemerkenswert ist indessen, daß die bedeutende Verminderung des Stoffwechsels, die seit Frühling 1918 eingetreten ist, nur von einer unbedeutenden Gewichtsabnahme begleitet war (bis 49·9 kg). Unmöglich ist es, zu entscheiden, welche Rolle die wechselnde Trainierung hierbei gespielt hat.

Zu Beginn des Herbstes 1918 war das subjektive Befinden wieder gut; gleichzeitig war der O_2-Verbrauch wieder 198 ccm. Für A. H. und S. R. waren die Gewichte im Juli 1917 53·2 bzw. 64·1 kg (im August desselben Jahres für S. R. 66 kg), also Abnahme im ersten, aber nicht im zweiten Falle. Auch für J. L. ist eine Gewichtsabnahme eingetreten (Gewicht im August 1917 63·5 kg); auch für diese Versuchsperson ist wahrscheinlich der Umsatz gesunken.

Die zwei Versuche nach dem Mittag zeigen eine Vermehrung von 23 Proz. bzw. 8 Proz. Der erstere Wert ist wahrscheinlich zufälligerweise etwas zu hoch und kam außerdem zu früh nach dem Essen, um mit den Versuchen während Rudern vollkommen vergleichbar zu sein. Bei den folgenden Berechnungen wird eine mittlere Erhöhung des Ruhewertes um 10 Proz. 5 bis 7 Stunden nach dem Mittagessen angenommen. Wie sich aus den Tabellen ergibt, ist ein Fehler hierbei — auch ein relativ großer — von geringer Bedeutung.

Die Versuche mit Rudern von G. L. werden in der Tabelle 2 wiedergegeben; die Versuche werden nach steigender Geschwindigkeit des Ruderns angeführt. Der O_2-Verbrauch pro Meter Weg wurde nach Abzug des Ruhewertes berechnet (Tab. 2), wobei, wie erwähnt, eine Vermehrung von diesem mit 10 Proz. in den Versuchen nachmittags angenommen wird.

Aus der Tabelle geht u. a. folgendes hervor. Die Atmungsfrequenz hält sich bei kleinen Geschwindigkeiten des Ruderns für diese Versuchsperson auf mäßiger Höhe, etwa wie beim Gehen mit gewöhnlicher Marschgeschwindigkeit.

Bei einer Geschwindigkeit von etwa 60 m pro Min. sieht man eine plötzlich einsetzende bedeutende Vermehrung der Frequenz, die jetzt etwa doppelt so hoch wie früher ist. In gewissen Fällen ist auch hier die niedrigere Atmungsfrequenz vorhanden; nirgends sieht man jedoch einen Übergang zwischen diesen beiden Gebieten der Frequenz. Die Erklärung hierfür liegt offenbar darin, daß die Atmung dem Takte der Ruderschläge angepaßt wird. Wenn die Ruder mit Kraft durch das Wasser geführt werden, ist die Atmung wegen der Anspannung von Brustkorb und Bauchwand aufgehoben; automatisch wird die Atmung deshalb so geregelt, daß sie regelmäßig zwischen diesen Momenten stattfindet. Im Anfang kommt dann — bei geringer Geschwindigkeit — Einatmung für jeden zweiten, Ausatmung für jeden zweiten Ruderschlag. Wenn aber die so erhaltene Atmungsfrequenz nicht genügend hoch ist, geschieht sowohl Ein- wie Ausatmung für jeden Ruderschlag. Nur bei einer Gelegenheit (10. Juli) findet man einen Versuch des Körpers, die Atmung in etwas weniger regelmäßiger Weise auszuführen. Es muß in diesem Zusammenhang erwähnt werden, daß G. L. seit längerer Zeit daran gewöhnt ist, seine Atmungsfrequenz in weiten Grenzen willkürlich zu regulieren; möglicherweise hängt die auffallende Leichtigkeit damit zusammen, mit der die Einstellung hier geschieht. Eine Folge davon ist, daß die erhaltene Atmungsfrequenz für den ent-

Tabelle 2.

Versuche mit Rudern. Versuchsperson: G. L.

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Weg m pro Min.	Zahl der Ruderschläge pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro m Weg ccm	Wind
10. Juli	2·6	36·8	26·4	13·2	9·0	306	418	0·73	6·6	v – 30°
10. „	2·0	48·1	31·4[2]	15·2	14·6	530	588	0·90	8·6	v – 30°
10. „	1·9	48·8	26·7	13·4	11·3	399	478	0·84	6·2	v 30°
6. „	1·8	51·5	—	11·9	15·6	686	741	0·93	11·0	vv – 45°
9. „	1·8	52·2	30·8	15·4	17·3	652	759	0·86	11·2	0 – sv
10. „	1·8	54·2	35·4	17·7	17·9	708	792	0·89	11·4	v – 30°
9. „	1·7	55·5	26·3	26·3	14·5	497	642	0·77	8·4	0 – sv
15. „[1]	1·7	55·6	23·4	11·7	14·5	615	662	0·93	8·4	0
6. „	1·7	57·0	26·4	13·2	13·2	551	664	0·83	8·6	vv 45°
9. „	1·6	58·6	30·8	15·4	15·6	593	703	0·84	9·0	0 – sv
10. „	1·6	60·4	31·2	31·2	19·7	737	938	0·79	12·6	v – 30°
10. „	1·6	60·4	34·4	34·4	32·0	1221	1439	0·85	21·0	vv – 30°
9. „	1·5	61·6	29·8	29·8	20·9	796	939	0·85	12·3	0 – sv
10. „	1·5	65·0	34·2	34·2	32·3	1263	1505	0·84	20·4	v – 30°
28. „	1·4	6[illegible]·4	30·8	15·4	18·2	709	793	0·89	9·3	0
6. „	1·4	67·8	30·0	15·0	26·4	1162	1265	0·92	16·1	vv – 45°
15. „[1]	1·4	68·3	24·4	24·4	23·0	957	1070	0·90	12·8	0
9. „	1·4	69·6	29·3	29·3	25·5	1017	1125	0·90	13·7	0 – sv
6. „	1·3	74·5	—	26·6	30·1	1308	1362	0·96	15·9	vv – 45°
28. „	1·2	77·8	33·6	33·6	29·2	1234	1444	0·85	16·3	0
9. „	1·2	79·2	41·6	41·6	38·4	1441	1445	1·00	16·0	0 – sv
15. „[1]	1·1	89·6[3]	32·0	32·0	45·5	1913	1866	1·02	18·7	0
28. „	1·0	93·4[3,4]	48·0	48·0	62·5	2276	1876	1·21	18·3	0

sprechenden Gaswechsel leicht ziemlich hoch wird, etwa wie beim Schwimmen für G. L. Daß die Atemzüge beim Rudern leicht nach den Ruderschlägen geregelt werden, geht auch aus einer Kurve hervor, die Kolb[5] vom Trainierungswettrudern mitgeteilt hat. Nachdem die Atmung während der ersten Ruderschläge suspendiert gewesen ist, findet man danach für die beiden Versuchspersonen, deren Atmungs-

---

[1] Die Versuche dieses Tages wurden 6·5 Stunden nach dem Mittagessen ausgeführt.

[2] Während des Versuchs kamen 62 Ruderschläge und 30 Atemzüge vor, davon 28 regelmäßig für jeden zweiten, während 2 für jeden dritten Ruderschlag in Betracht kamen.

[3] Maximale Anstrengung.

[4] Die Geschwindigkeit nahm am Ende des Versuches etwas ab.

[5] Kolb, *Beiträge zur Physiologie maximaler Muskelarbeit.* Berlin 1891.

frequenz registriert wurde, vollkommene Übereinstimmung zwischen den Zahlen der Atemzüge und der Ruderschläge. Kolb selbst hebt aber dies nicht hervor und scheint bei zahlreichen Gelegenheiten ganz verschiedene Frequenzen für Atmungs- und Ruderbewegungen beobachtet zu haben (Fig. 61 A). Bemerkenswert ist auch die folgende Äußerung (S. 24): „Steigt aber die Respirationsfrequenz längere Zeit über 60, so wächst die Frequenz plötzlich sehr schnell auf 120 und 140 pro Minute."

Die Vermehrung der Ventilation bietet in der Tabelle 2 etwa dasselbe Bild wie bei anderer Arbeit mit entsprechender Frequenz und Umsatz (vgl. Gehen bzw. Schwimmen).[1] Ähnliches gilt für den respiratorischen Quotienten, der bei den kräftigsten Anstrengungen typisch Werte über 1 zeigt.

Das eigentümliche Verhalten der Atmungsfrequenz spiegelt sich natürlich in der Größe der Atemzüge ab. Sie variieren sehr unregelmäßig (Minimum etwa 670 ccm, Maximum etwa 2130 ccm, beides bei 37°). Bisweilen sieht man mit steigendem Umsatz eine Vergrößerung des Atemzuges; wenn aber dann eine plötzliche kräftige Frequenzvermehrung stattfindet, werden die Atemzüge wieder stark verkleinert; auch bei den hohen Ventilationen bei 77·8 bzw. 79·2 m Geschwindigkeit werden die Atemzüge deshalb nur 1050 bzw. 1120 ccm (37°).

Was den O_2-Verbrauch betrifft, sieht man sofort, daß der Wind einen starken Einfluß ausübt. So gut wie überall, wo Gegenwind herrschte, findet man einen höheren O_2-Verbrauch als bei ruhigem Wetter. Bei den entgegengesetzten Windrichtungen dagegen stimmen die Werte gut mit denjenigen in Ruhe überein. Wahrscheinlich haben wohl der Gewinn durch die fördernde Komponente und der Verlust durch Abtrift einander etwa kompensiert. Der O_2-Verbrauch beim Rudern mit mäßiger Anstrengung hält sich bei Werten unwesentlich höher als diejenigen beim Gehen mit gewöhnlicher Marschgeschwindigkeit. Bei stärkerer Anstrengung steigt der O_2-Verbrauch bedeutend. Der höchste Wert, der von dieser Versuchsperson bei maximaler Anstrengung erreicht wurde, ist etwa 1900 ccm. Dies ist wesentlich niedriger als bei vielen anderen Körperübungen, wo ein Umsatz von 2300 bis 2600 ccm O_2 während derselben Gesamtzeit (d. h. Vorperiode + Versuchsperiode) für G. L. erreicht wurde.

Ein gewisses Interesse beanspruchen die Werte für den O_2-Verbrauch pro Meter Weg. Sie gelten zwar nur für das hier gebrauchte

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 1.

Boot; die relative Steigerung des Verbrauchs bei Vermehrung der Geschwindigkeit hat aber eine allgemeinere Bedeutung. Hierbei sind aus leicht einzusehenden Gründen nur diejenigen Werte brauchbar, die bei vollständiger oder so gut wie vollständiger (0—sv) Windstille gewonnen wurden. Die betreffenden 12 Werte geben eine gute Reihe, wo nur zwei etwas große Abweichungen zeigen. In der Tabelle 3 werden die Werte in drei Klassen zusammengeführt.

Tabelle 3.

Versuchsperson: G. L.

Geschwindigkeit des Ruderns m pro Min.	Geschwindigkeit des Ruderns m pro Min. (Mittel)	Relative Geschwindigkeit des Ruderns	Zahl der Versuche	O_2-Verbrauch pro m Weg ccm	Relativer O_2-Verbrauch
50—60	55·5	100	4	9·25	100
60—70	66·5	120	4	12·0	130
> 70	84·9	153	4	17·3	187

Der O_2-Verbrauch pro Meter Weg steigt schneller als die Geschwindigkeit des Ruderns. Es soll in diesem Zusammenhang daran erinnert werden, daß der Widerstand des Bootes gegen das Wasser bei steigender Geschwindigkeit annähernd mit dem Quadrate der Geschwindigkeit steigt. (Tatsächlich muß der Widerstand schneller als mit dem Quadrate der mittleren Geschwindigkeit steigen, weil die Schnelligkeit des Bootes mit den Ruderschlägen periodisch variiert und der Widerstand auch dann mit dem Quadrate der Geschwindigkeit steigt und fällt). Folglich muß auch die technische Arbeit bei vermehrter Geschwindigkeit in entsprechendem Grade wachsen. Da aber der O_2-Verbrauch pro Meter Weg wesentlich langsamer als das Quadrat der Geschwindigkeit wächst, ist es höchstwahrscheinlich, daß derjenige Teil der äußeren Arbeit, der als „Körperarbeit" bezeichnet wird (vgl. Lindhard)[1], relativ bedeutend ist. Er besteht hier hauptsächlich in Hin- und Herbewegungen des Körpers und der oberen Extremitäten, sowie auch in gewissen Phasen des Ruderns in statischer Arbeit gewisser Brust-, Bauch- und Rückenmuskeln. Gewiß wächst auch diese Arbeit etwas mit vermehrter Geschwindigkeit des Ruderns, da die kräftigeren Ruderschläge zu einer stärkeren Fixation zwingen. Der

[1] Lindhard, *Archiv f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 334 u. ff.

Anteil der technischen Arbeit an dem O_2-Verbrauch läßt sich deshalb kaum mit Vorteil berechnen, wenn man als Ruhewert den Arbeitswert bei einer kleineren Geschwindigkeit gebraucht.

Die Tabelle 4 umfaßt die Versuche mit Rudern von J. L., sämtliche während Windstille ausgeführt.

Tabelle 4.
Versuche mit Rudern. Versuchsperson: J. L.

Versuchstag	Dauer des Versuchs (Min.)	Weg m pro Min.	Zahl der Ruderschläge pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro m Weg ccm
15. Juli[1]	1·6	60·9	25	8·3	18·2	790	983	0·80	12·5
15. „ [1]	1·5	65·5	26·9	9·0?	20·4	947	1191	0·80	14·8
17. „	1·4	68·0	—	9·4	18·2	763	916	0·83	10·5
17. „	1·2	76·5	29·8	—	23·0	891	1167	0·76	12·6
17. „	1·2	77·0	27·6	11·4	26·1	1187	1395	0·85	15·5
15. „ [1]	1·2	79·7	—	11·8	27·8	1231	1262	0·98	13·1
17. „	1·2	87·0	29·9	11·1	26·8	1164	1415	0·82	15·0
28. „	1·2	81·2	29·1	14·6	34·7	1334	1306	1·02	13·6
17. „	1·1	85·5	34·2	11·7	36·2	1554	1790	0·87	18·6
28. „	1·0	91·4	—	26·0	64·5	2211	1883	1·18	18·4
28. „	1·0	94·1	—	26·7	66·0	2005	1933	1·04	18·4
17. „	0·9	102·5	36·7	14·0	37·6	1452	1686	0·86	14·5

Betreffs der Atmungsfrequenz zeigen diese Versuche keine so typische Einstellung nach der Frequenz der Ruderschläge, wie es bei G. L. der Fall war. Jedoch ist in mehreren Fällen eine bestimmte Tendenz vorhanden, die Atemzüge nach dem Takte des Ruderns einzustellen. So erhielt man bei den Geschwindigkeiten 60·9 und (wahrscheinlich) 65·5 m einen Atemzug für jeden dritten Ruderschlag, während bei 81·2 m jeder zweite Ruderschlag von einem Atemzug begleitet wird. In zwei Fällen liegt eine starke Frequenzvermehrung vor. Leider wurden in diesem Falle die Ruderschläge nicht gerechnet, wahrscheinlich ist jedoch, daß die Atmung hier im großen ganzen mit einem Atemzug auf jeden Ruderschlag eingestellt wurde, während einige Atemzüge nur bei jedem zweiten oder dritten Ruderschlag eintraten. Eine auffallende Überventilation mit hohem respiratorischen Quotienten kommt in beiden Fällen vor. Die Atemzüge halten sich während der ganzen Reihe zwischen 2300 und 3300 ccm (37°). Auch in den beiden

[1] Die Versuche dieses Tages wurden 5 Stunden nach dem Mittagessen ausgeführt.

erwähnten Versuchen, wo die Frequenz bis 26 in der Minute erreichte. sind die Atemzüge jedoch. dank der gleichzeitigen Überventilation. etwa 3000 ccm (37°).

Der O_2-Verbrauch zeigt im großen ganzen dasselbe Verhalten wie bei G. L. Die Mittel pro Meter Weg werden in der Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5.
Versuchsperson: J. L.

Geschwindigkeit des Ruderns m pro Min.	Geschwindigkeit des Ruderns m pro Min. (Mittel)	Relative Geschwindigkeit des Ruderns	Zahl der Versuche	O_2-Verbrauch pro m Weg ccm	Relativer O_2-Verbrauch
60—70	64·8	100	3	12·6	100
75—85	79·1	122	5	14·0	111
>85	93·4	144	5	17·5	139

Die absoluten Werte sind für eine Geschwindigkeit von etwa 65 m pro Min. etwa dieselben wie für G. L.: für die höheren Geschwindigkeiten sind sie relativ niedriger bei J. L. Die relative Steigerung des O_2-Verbrauchs pro Meter Weg ist hier sogar langsamer als für die Geschwindigkeit des Ruderns.

In den Tabellen 6 und 7 werden die Versuche mit Rudern von S. R. und A. H. mitgeteilt.

Tabelle 6.
Versuche mit Rudern. Versuchsperson: S. R. (7. August. 5 Stunden nach dem Mittagsmahl).

Dauer des Versuchs (Min.)	Weg m pro Min.	Zahl der Ruderschläge pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro m Weg ccm
2·6	36·8	—	23·6	12·2	538	581	0·93	9·1
1·9	51·1	—	23·1	18·2	808	837	0·97	11·4
1·6	60·1	—	20·9	23·5	1074	1081	0·99	13·9
1·4	69·1	17·4	17·4	25·4	1251	1307	0·96	15·3
1·4	69·3	—	21·2	24·6	1158	1296	0·89	15·1
1·3	76·0	23·2	23·2	30·2	1472	1572	0·94	17·4
1·2	82·6	27·8	27·8	43·7	2090	2120	0·99	22·6
1·0	96·6	32·6	32·6	44·0	2062	2217	0·93	20·4

In beiden dieser Reihen war Windstille vorhanden. S. R. stellt sehr regelmäßig die Atmung auf denselben Takt wie die Ruderschläge ein.

Tabelle 7.

Versuche mit Rudern. Versuchsperson: A. H. (15. Juli, 5½ Stunden nach dem Mittagsmahl).

Dauer des Versuchs (Min.)	Weg m pro Min.	Zahl der Ruderschläge pro Min.	Atemzüge pro Min.	Ventilation Liter pro Min.	CO_2-Abgabe ccm pro Min.	O_2-Aufnahme ccm pro Min.	$\frac{CO_2}{O_2}$	O_2 pro m Weg ccm
2·1	46	—	—	12·9	459	563	0·82	8·2
1·7	57	23·4	23·4	13·1	550	760	0·72	10·0
1·4	67	25·3	17·6	15·6	735	966	0·76	11·6
1·4	68	33·0	18·7	19·3	945	1122	0·84	13·7

während dies für A. H. nur in einem Versuch der Fall ist. S. R. erhält auch eine im Verhältnis zum Stoffwechsel sehr hohe Atmungsfrequenz. Möglicherweise hängt damit zusammen, daß der respiratorische Quotient auch bei unbedeutenden Anstrengungen so hoch ist. Die Atemzüge nehmen ziemlich regelmäßig von etwa 630 bis etwa 1900 ccm zu, während sie für A. H. von 690 bis 1250 ccm (alles 37°) steigen.

Der O_2-Verbrauch pro Meter Weg zeigt in beiden Fällen die charakteristische Zunahme mit vermehrter Geschwindigkeit. Wenn auch einige Unregelmäßigkeiten vorhanden sind, geschieht doch die Steigerung in beiden Reihen annähernd proportional der Geschwindigkeit. Die absoluten Werte halten sich für A. H. auf etwa derselben Höhe wie für die beiden erst erwähnten Versuchspersonen. Dagegen fällt unzweifelhaft die Reihe für S. R. höher aus als die entsprechenden Werte für die übrigen. Unserer Ansicht nach ist die wahrscheinliche Erklärung darin zu suchen, daß S. R., wie ein Blick auf die Tabellen zeigt, von allen Versuchspersonen diejenige war, welche die längsten Ruderschläge hatte (und folglich die niedrigste Frequenzzahl derselben). Dadurch dürfte die „Körperarbeit" relativ groß werden, weil die größeren Bewegungen hin und zurück von dem Körper und den oberen Extremitäten eine relativ größere Arbeit erfordern als die entsprechende Zahl kleinerer Bewegungen, wo der Körper die ganze Zeit in der Nähe des Vertikals gehalten wird. Das etwas größere Körpergewicht bei S. R. wirkt in derselben Richtung. Trotz des relativ höheren Umsatzes ist es sehr wohl möglich, daß eine solche Arbeitsweise jedoch auf die Dauer vorteilhaft sein kann, weil die Armmuskeln nicht so schnell ermüdet werden.

Der Versuch mit der größten Geschwindigkeit mit S. R. repräsentiert maximale Anstrengung. Der O_2-Verbrauch stieg dann bis 2217 ccm,

was ziemlich viel weniger ist, als man bei der in Frage stehenden Zeitdauer hätte erwarten sollen. Für J. L. ist möglicherweise eine unbedeutend höhere Leistung als die größte in der Tabelle (1933 ccm) erreichbar; doch dürfte er sicher nicht imstande sein, mit Rudern in dieser Weise den hohen O_2-Verbrauch zu erreichen (etwa 2500 ccm), der in Versuchen am Cykelergometer bei wesentlich längerer Dauer erreicht wurde.[1] Es dürfte wahrscheinlich sein, daß die Ursache dieses Unterschiedes darin zu suchen ist, daß während der angegebenen Verhältnisse die Grenze für die Leistungsfähigkeit von der Armmuskulatur

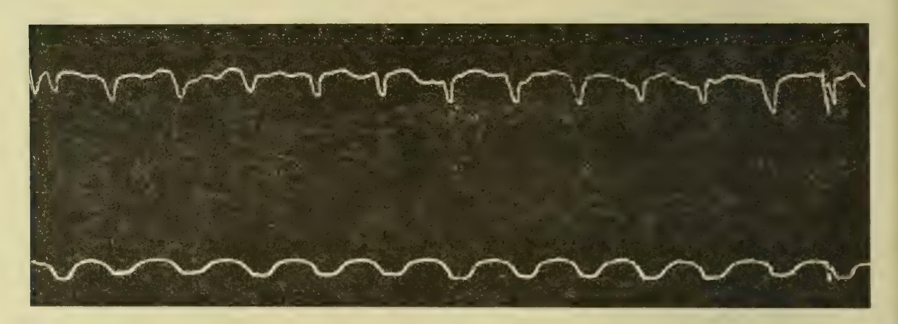


Fig. 1.

Registrierung der Atmung bei G. L. mit Pneumograph (obere Kurve) während des Ruderns. Exspiration nach oben. Die untere Kurve registriert die Ruderschläge. (Die Kurve sinkt, wenn das Ruderblatt gegen das Wasser geführt wird.)

gesetzt wird, während dagegen in denjenigen Fällen, wo die Beinmuskulatur in hohem Grade beteiligt ist, die Grenze später erreicht wird und von der Leistungsfähigkeit des Herzens bestimmt wird.

In Booten, die für Wettrudern eingerichtet sind, hat man ja auch die kräftige Beinmuskulatur dadurch ausgenutzt, daß der Sitzplatz des Ruderers während des Ruderschlages verschiebbar ist. Durch Vertiefung der Sitzplätze werden auch besonders große Bewegungen des Körpers hin und her ermöglicht.[2] Gewiß wird unter solchen Umständen der Umsatz bei maximaler Anstrengung bei weitem größer als oben. Sichere Angaben darüber scheinen aber nicht vorzuliegen. Bisweilen wird angegeben, daß die CO_2-Abgabe während maximalen Ruderns bis 20 mal den Ruhewert übersteigen kann (vgl. z. B. L. Zuntz).[3] Diese

[1] *Archiv f. d. ges. Physiol.* 1915. Bd. CLXI. S. 320.

[2] S. Kolb, a. a. O. S. 10.

[3] L. Zuntz, *Handbuch d. physik. Therapie* (herausgegeben von Goldscheider u. Jacob). Bd. I: 2. S. 195. Leipzig 1901.

Angabe (vgl. Kolbs Arbeit, S. 28) scheint indessen das Ergebnis einer Berechnung zu sein, die von ziemlich willkürlichen Voraussetzungen ausgeht.

Der früher erwähnte Zusammenhang zwischen Frequenz der Ruderschläge und der Atemzüge veranlaßte uns, sie bei verschiedenen Gelegenheiten graphisch aufzuzeichnen. Die Atmung wurde teils mit Hilfe eines Pneumographs um den Bauch registriert, wobei Verschiebung der Kurve nach oben Verminderung des Bauchumfangs (Exspiration) bedeutet, teils wurden auch in gewissen Fällen die Druckänderungen des Ventils geschrieben (Druckvermehrung verursacht Verschiebung der Kurve nach oben). Die Ruderschläge wurden mit Hilfe eines an beiden Enden geschlossenen Schlauchs registriert, der mit dem Ruder in der Nähe der Klammer verbunden wurde. Der Schlauch kommunizierte mit einer Mareyschen Kapsel. Für jeden Ruderschlag entstand eine Sinuskurve. Da der obere Teil des Ruders in der Fahrtrichtung geführt wird, sinkt die Kurve und umgekehrt. Bisweilen wurde bei der größten Kraftentfaltung während des Ruderschlages eine ruckartige Vertiefung der Kurve gesehen. In den Figg. 1 bis 3 teilen wir einige illustrative Kurven mit. In der Fig. 1 ist die Frequenz der Ruderschläge und Atemzüge dieselbe (G. L.). Die Inspirationen sind kurzdauernd und finden unmittelbar vor der kräftigen Bewegung des Ruderblattes durch das Wasser statt. Die Fig. 2, A und B.

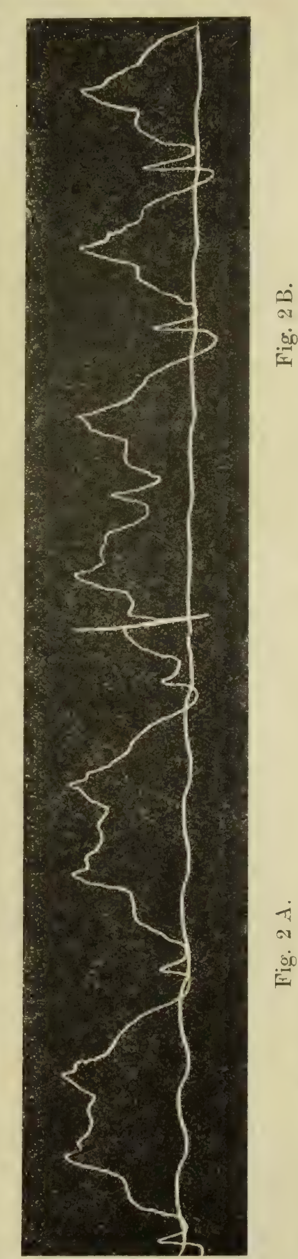


Fig. 2 A. Fig. 2 B.

Registrierung der Atmung mit Pneumograph während des Ruderns (obere Kurve; Exspiration nach oben). Die Ruderschläge werden in der unteren Kurve registriert. (Senkung der Kurve, wenn das Ruderblatt durch das Wasser geführt wird.) Versuchsperson: J. L. Fig. 2 A bei langsamem, Fig. 2 B bei ziemlich schnellem Rudern.

zeigt (bei J. L.) für jeden Atemzug 3 bzw. 2 Ruderschläge. Diese spiegeln sich sehr deutlich in der Atmungskurve ab. Jedesmal, wenn die größte Kraftentwicklung während des Ruderschlages stattfindet, erhält die Kurve eine Spitze, offenbar der Anspannung der Bauchwand entsprechend. Die Inspiration tritt zwischen zwei solchen Spitzen ein. In der Fig. 3, wo die Spitzen der Pneumographkurve nicht so deutlich hervortreten, findet man, daß jeder Ruderschlag einem Plateau zwischen zwei Spitzen auf der Druckkurve entspricht.

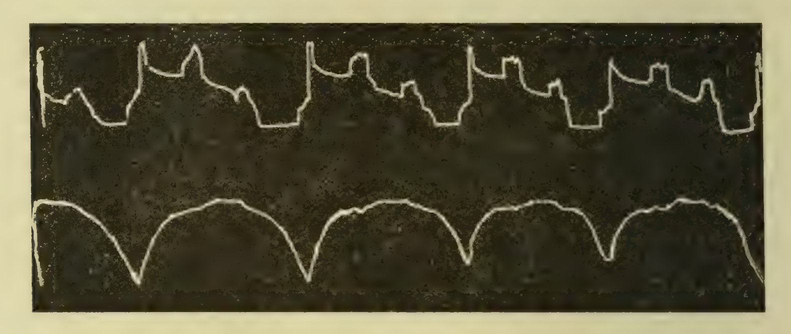


Fig. 3.
Gleichzeitige Registrierung der Atmung mit Pneumograph (untere Kurve, Exspiration nach oben) und der Druckänderungen des Ventils (Drucksteigerung nach oben). Versuch mit J. L. beim Rudern.

Kapitel 2.

Das Minutenvolumen des Herzens.

Bestimmungen des Minutenvolumens des Herzens wurden an drei unserer Versuchspersonen mit der Methode von Krogh und Lindhard[1] („Gleichgewichtsmethode") ausgeführt, sämtliche in nüchternem Zustande. Obgleich Ruhewerte aus früheren Untersuchungen für sämtliche drei Versuchspersonen bekannt waren, schien es jedoch wünschenswert — als eine Kontrolle —, sie nochmals festzustellen. Es wurden deshalb bei ihnen je 3 bis 4 Ruheversuche in gewöhnlicher Weise in sitzender Stellung ausgeführt. In der Regel wurden sie in unmittelbarem Zusammenhange mit den entsprechenden in der Tabelle 1 angeführten Respirationsversuchen gemacht. Entweder kam zuerst der Respirationsversuch und unmittelbar danach die Bestimmung des Minutenvolumens oder es wurde der Respirationsversuch zwischen zwei Kreislaufversuchen gemacht.

[1] Krogh u. Lindhard, *Dies Archiv*. 1912. Bd. XXVII. S. 101.

In den Arbeitsversuchen waren besondere Maßnahmen nötig. Es stellte sich bald heraus, daß das Spirometer unmöglich in dem Boot stehen konnte, da jeder Ruderschlag auch bei vollkommen ruhigem Wetter heftige Erschütterungen des Apparates verursachte. In Übereinstimmung mit den Verhältnissen bei feststehendem Rad, Tretbahn



Fig. 4.

bzw. Schwimmen mit nur kleinen Verschiebungen[1] haben wir die folgende Anordnung getroffen (vgl. Fig. 4). Im Ruderboot wurde eine Federwage befestigt, von der eine Schnur zu einem festen Punkt am Lande verlief. Bei jedem Ruderschlag wurde also mit der Federwage gebremst, so daß das Boot sich etwa wie beim Rudern im Gegenstrom

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 66.

derselben Stärke bewegte. Die Federwage war für die Versuchsperson deutlich sichtbar, und sie bemühte sich, während des Versuchs einen möglichst konstanten mittleren Wert der Wage beizubehalten. Durch Vertäuung des Vorderteils des Bootes wurde es verhindert, sich allzusehr von der Brücke zu entfernen, wo das Spirometer auf geringer Höhe über dem Wasser aufgestellt worden war. Das Rudern war selbstverständlich nicht ganz so unbehindert wie unter gewöhnlichen Umständen; es verursachte aber keine Schwierigkeiten, es regelmäßig und mit gewünschter Kraft auszuführen. Von dem früher erwähnten Galgen hing der Dreiweghahn mit zugehörigem Mundstück und Schlauch herunter. Vor dem Rudern applizierte die Versuchsperson die Nasenklemme und das Mundstück. Dann kam eine Vorperiode von 2 bis 3 Min. mit Rudern in der vorgeschriebenen Weise. Die Spannung der Federwage variierte natürlich mit dem zu erzielenden Umsatz; dem niedrigsten Umsatz entsprach eine mittlere Spannung der Wage von 2·5 bis 3·5 kg. Bei kräftigem Rudern wurden die Spannungsschwankungen für jeden Ruderschlag ziemlich groß; die maximale mittlere Belastung betrug etwa 8 bis 10 kg. Bei den Kreislaufbestimmungen wurde der Dreiweghahn von dem Versuchsleiter, der hinter der Versuchsperson stand, gedreht. In der Regel wurden in den Arbeitsversuchen zwei tiefe Mischungsrespirationen gebraucht (in den Ruheversuchen immer drei).

In unmittelbarem Zusammenhange mit den Kreislaufbestimmungen wurden gewöhnlich auch Respirationsversuche ausgeführt. Atmungsfrequenz, Ventilation und respiratorischer Quotient zeigten dabei für die verschiedenen Versuchspersonen gute Übereinstimmung mit den früher mitgeteilten Versuchen. Da aber diese Verhältnisse in diesem Zusammenhange von geringerem Interesse zu sein scheinen, haben wir uns im folgenden darauf beschränkt, die Werte für den O_2-Verbrauch mitzuteilen. Die Pulsfrequenz konnten wir leider in der Regel nicht bestimmen, da das Rudern zu kräftige Bewegungen der Versuchsperson verursachte. Bei G. L. gelang es einmal, während des Ruderns die Pulsfrequenz während 10 Sek. zu bestimmen. Ein anderes Mal wurde sie während 5 Sek. unmittelbar nach dem Rudern bestimmt. Der Wert dieser beiden Zählungen ist offenbar nicht groß.

Für G. L. werden die Ruheversuche in der Tabelle 8 A und die Arbeitsversuche in der Tabelle 8 B mitgeteilt. Die letzten werden nach steigendem O_2-Verbrauch in dem zugehörigen Respirationsversuch angeführt.

Tabelle 8 A.

Ruheversuche über das Minutenvolumen des Herzens bei G. L.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvolumen auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen ccm
12. Juli	1	8·3	245	30·0	(176)	6·0	56	107
	2	5·4	206	38·0	(176)	4·6	58	80
15. „	3	4·4	169	39·0	(176)	4·6	53	86
	4	6·5	196	30·0	(176)	5·8	48	122
Mittel				34·3		5·3		

Tabelle 8 B.

Minutenvolumen des Herzens beim Rudern. Versuchsperson: G. L.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvolumen auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert Liter	Bemerkungen
19. Juli	1	5·6	610	109	—	—	
21. „	4	8·7	729	84	763	9·1	
	5	8·3	721	87		8·8	
20. „	2	12·5	654	52	786	15·0	19 Pulse in 10 Sek.
	3	8·7	745	85		9·2	
23. „	8	11·5	832	73	1033	14·3	
	9	9·1	785	87		11·9	
22. „	6	12·8	1112	87	1297	14·9[1]	
	7	10·1	993	98		13·2	

Von den Ruhewerten liegen sowohl der erste wie der letzte verhältnismäßig hoch, während die beiden mittleren dem Mittelwert vom Jahre 1917 ziemlich nahe kommen. Das Mittel wird folglich ziemlich hoch mit entsprechendem niedrigen Werte für die Ausnutzung des Blutsauerstoffs. Während des Ruderns findet man in dreien von den vier Versuchen am 20. Juli und 21. Juli die O_2-Aufnahme etwa gleich groß in den Kreislaufbestimmungen wie in den zugehörigen Respirationsversuchen, während in den späteren Versuchen diese gute Übereinstimmung nicht vorhanden ist. Die Ursache hierfür liegt zweifelsohne darin, daß die Versuchsperson bei den Kreislaufversuchen etwas in ihrer freien Be-

[1] Unmittelbar nach dem Rudern 11 Pulse in 5 Sekunden.

weglichkeit gehemmt wird, weil der Versuchsleiter den Dreiweghahn manövriert. Dasselbe Verhältnis kehrt in einigen der Versuche an J. L. und S. R. wieder. Dies bedingt in diesen Fällen eine Reduktion des Minutenvolumens nach oben, die für kleine Werte der Reduktion ohne Bedenken sein dürfte. Dagegen kann einer großen Reduktion (s. Tab. 10 B die beiden letzten Versuche) keine größere Bedeutung beigemessen werden, weil die so erhaltenen Werte zu hoch werden, indem ja bei steigendem Umsatz eine verbesserte Ausnutzung des Blutsauerstoffs auftritt.

Die Tabelle zeigt eine auffallende Steigerung des Minutenvolumens, im großen ganzen parallel der Größe der Arbeit, wie diese sich in dem O_2-Verbrauch wiederspiegelt. Betreffs der Ausnutzung des Blutsauerstoffs gestalten sich sämtliche Arbeitsversuche wesentlich besser als die Ruheversuche. Auffallend ist, daß der höchste Wert bei der geringsten Arbeit erhalten wird (9. Juli). In der Tat war die betreffende Arbeit äußerst klein; es war dies das erstemal, daß unsere Anordnung praktisch geprüft wurde. Eine gewisse Analogie mit Radfahren am unbelasteten Ergometer scheint vorzuliegen (der Umsatz ist dabei oft größer als hier). Es ist deshalb von Interesse, daran zu erinnern, daß Lindhard eben beim Radfahren am Ergometer ohne Belastung oft einen auffallend hohen Wert für die Ausnutzung erhielt (ein Knie der Kurve). In den folgenden Versuchen hält sich die Ausnutzung ziemlich gleichmäßig. Eine Erhöhung des Wertes bei größerer Arbeit ist offenbar vorhanden, indem das Mittel der vier Versuche vom 20. und 21. Juli 77 und vom 22. und 23. Juli 86 ccm pro Liter beträgt.

Auch für J. L. sind die Ruhewerte (Tabelle 9 A) relativ hoch. Für die Versuche beim Rudern muß die Übereinstimmung zwischen der O_2-Aufnahme während der Respirations- und Kreislaufversuche in den meisten Fällen als sehr gut bezeichnet werden. Am 25. Juli liegt jedoch, aus gewöhnlicher Ursache, eine nicht unbedeutende Abweichung vor. Die Vermehrung des Minutenvolumens sowie die verbesserte Ausnutzung des Blutsauerstoffs sind ja sehr auffallend. Der Wert des Versuchs 2 fällt aber vollständig außerhalb der Reihe. Irgendeinen technischen Fehler haben wir nicht finden können; da aber einerseits der Wert für die Ausnutzung, 165 ccm pro Liter, wesentlich höher als das früher von Lindhard in einer großen Versuchsreihe gefundene Maximum ausfällt und anderseits die übrigen vier Versuche mit etwa derselben O_2-Aufnahme eine gute Übereinstimmung untereinander zeigen, scheint es uns berechtigt, von dem betreffenden Versuch abzusehen. Für die übrigen 8 erhalten wir ein Mittel für die Ausnutzung von 84 ccm.

Tabelle 9 A.

Ruheversuche über das Minutenvolumen des Herzens bei J. L.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvolumen auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen ccm
16. Juli	1	6·5	322	34	(202)	5·9	59	100
18. ,,	2	6·5	240	37	(202)	5·5	56	98
	3	7·1	222	31	(202)	6·5	59	110
Mittel				34		6·0		

Tabelle 9 B.

Das Minutenvolumen des Herzens beim Rudern. Versuchsperson: J. L.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. Liter	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvol. auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert Liter
22. Juli	3	11·2	1011	90	968	10·7
21. ,,	1	14·3	1009	71 }	1018	14·4
	2	6·5	1078	165 }		6·2
23. Juli	4	14·3	993	70 }	1019	14·6
	5	12·2	988	81 }		12·6
24. ,,	6	11·3	1150	101 }	1335	13·1
	7	14·6	1335	92 }		14·6
25. ,,	8	13·6	1191	87 }	1360	15·5
	9	13·8	1131	82 }		16·6

Für die 4 Versuche mit einer O_2-Aufnahme von etwa 1000 ccm pro Min. wird das Mittel 78 ccm, für die 4 mit der O_2-Aufnahme von 1131 bis 1335 ccm wird es 90 ccm.

Für S. R. stimmen die Ruheversuche (Tabelle 10 A) untereinander sehr gut überein, wie auch mit den früheren Bestimmungen. Die notwendige Reduktion ist jetzt wie früher groß. Von den Versuchen beim Rudern zeigen die beiden letzten einen bedeutend höheren Wert für die O_2-Aufnahme in den Respirationsversuchen als in den Kreislaufbestimmungen, aus Gründen, die früher erwähnt wurden. Dagegen stimmen die übrigen Versuche in dieser Hinsicht gut überein. Sämtliche Arbeitsversuche zeigen bedeutende Vermehrung des Minutenvolumens — bis zu 17·1 Liter direkt und 19·2 Liter reduziert — und

Tabelle 10 A.
Ruheversuche über das Minutenvolumen des Herzens bei S. R.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. (Liter)	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvolumen auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert	Pulsfrequenz pro Min.	Schlagvolumen ccm
18. Juli	1	8·1	372	46	(225)	4·9	72	68
20. ,,	2	9·8	439	45	(225)	5·0	66	76
	3	11·8	504	43	(225)	5·3	66	80
Mittel				44		5·1		

Tabelle 10 B.
Das Minutenvolumen des Herzens beim Rudern. Versuchsperson: S. R.

Versuchstag	Nr. des Versuchs	Minutenvolumen dir. Liter	O_2-Aufnahme während des Versuchs ccm	O_2-Aufnahme pro Liter Blut ccm	O_2-Aufnahme im Respirationsversuch ccm	Minutenvol. auf gewöhnliche O_2-Aufnahme reduziert Liter
24. Juli	1	17·1	999	59	843	14·4
	2	13·5	1124	83		10·1
26. ,,	3	15·0	1327	88	1192	13·5
	4	15·2	1305	86		13·9
27. ,,	5	14·8	1585	107	2055	19·2
	6	10·6	1549	147		14·0

der Ausnutzung. Im Durchschnitt beträgt die Ausnutzung 95 ccm; es liegt aber eine auffallende Steigerung mit vermehrtem Umsatz vor.

Für die Versuchspersonen G. L. und S. R. haben wir im Anschluß an Bestimmungen des Minutenvolumens des Herzens beim Schwimmen hervorgehoben[1], daß hierbei wahrscheinlich eine kleinere Ausnutzung des Blutes als bei gewissen anderen Arbeitsformen vorkommt. Diese Schlußfolgerung wurde durch einen Vergleich mit anderen Versuchspersonen am Cykelergometer gestützt; aber es war auch deshalb eine gewisse Reservation nötig. Die jetzt mitgeteilten Versuche zeigen mit voller Deutlichkeit, daß für beide Versuchspersonen die Ausnutzung beim Rudern besser als beim Schwimmen ist. So war für G. L. das Mittel beim Rudern 85 ccm, beim Schwimmen 75 ccm, während die entsprechenden Werte für S. R. 95 und 90·5 (ein niedriger Wert aus-

[1] G. Liljestrand u. J. Lindhard, *Dies Archiv*. 1919. Bd. XXXIX. S. 75.

geschlossen) sind. Dazu kommt noch, daß der Umsatz bei den Schwimmversuchen im Durchschnitt wesentlich höher als bei den Versuchen mit Rudern lag, weshalb – mit Rücksicht auf die bessere Ausnutzung bei höherem Umsatz – der tatsächliche Unterschied noch größer sein dürfte (vor allem bei S. R.).

Für J. L. liegt ebensowenig beim Rudern wie beim Schwimmen irgendein sicherer Unterschied gegenüber dem Minutenvolumen des Herzens beim Radfahren vor.

Zusammenfassung.

An vier Versuchspersonen wurden Respirationsversuche bei Ruhe und bei gewöhnlichem Rudern ausgeführt. Dabei stellte sich heraus, daß eine bestimmte Neigung vorhanden war, verschieden stark bei den verschiedenen Versuchspersonen, die Atmung dem Takte des Ruderns anzupassen, so daß ein Atemzug bei jedem ersten, jedem zweiten oder jedem dritten Ruderschlag stattfand. Nach der individuell wechselnden Weise, in der diese Einstellung stattfand, wurde die Größe der einzelnen Atemzüge bei steigendem Umsatz sehr wechselnd. Bei kräftigen Anstrengungen entstand leicht Überventilation mit hohen respiratorischen Quotienten (oft über 1).

Der O_2-Verbrauch wuchs mit der Geschwindigkeit des Ruderns. Der Verbrauch pro Meter Weg, nach Abzug des Ruhestoffwechsels berechnet, stieg mit der Geschwindigkeit. Nur in einem Falle fand diese Steigerung des Umsatzes pro Meter schneller statt als die Vermehrung der Geschwindigkeit. Wahrscheinlich macht die „Körperarbeit“ (in beschränktem Sinn) einen wesentlichen Teil des ganzen Umsatzes aus. Die bei maximaler Anstrengung gefundenen Werte des Umsatzes scheinen ziemlich wesentlich kleiner als die bei gewissen anderen Arbeitsarten (Radfahren, Laufen) unter entsprechenden Verhältnissen gefundenen zu sein.

Das Minutenvolumen des Herzens, bei drei der Versuchspersonen während Ruhe und Rudern bestimmt, zeigte beim Rudern eine wesentliche Steigerung, im großen ganzen größer, je größer der Umsatz war. Die Ausnutzung des Sauerstoffs des Blutes, die während des Ruderns wesentlich besser als bei Ruhe war, wurde mit vermehrtem Umsatz verbessert. Für zwei der Versuchspersonen war die Ausnutzung beim Rudern besser als beim Schwimmen.

Über die Einwirkung von Giften auf einen enzymatischen Prozeß.[1]

Sechste Mitteilung.

Vergleichende Versuche über die Wirkung einiger Kalium- und Natriumverbindungen.

Von

C. G. Santesson.

(Aus der pharmakologischen Abteilung des Karolinischen mediko-chirurgischen Instituts zu Stockholm.)

In einer früher veröffentlichten Arbeit[2] bin ich zu dem recht auffallenden Resultat gekommen, daß das Kochsalz auf die Katalase der Froschmuskeln einen stärker hemmenden Einfluß als das Chlorkalium ausübt. Es stellte sich dann die Frage auf: gilt dies als allgemeine Regel für alle Natrium- und Kaliumverbindungen, z. B. für Natrium- und Kaliumhydroxyd sowie für Salze der beiden Kationen mit anderen Säuren als HCl.

Ich habe dabei zuerst die Versuche mit KCl und NaCl wiederholt und das frühere Ergebnis bestätigt, um dann zu einigen anderen Verbindungen überzugehen. Ich lasse hier zunächst die Resultate folgen, in der Weise kurz zusammengefaßt, wie ich sie in mehreren vorher publizierten Arbeiten[3] wiedergegeben habe. Hier sei nur kurz daran erinnert, daß es sich um den Einfluß der resp. Substanzen auf das System Froschmuskelkatalase—H_2O_2 handelt und daß die entwickelten Sauerstoffmengen mit Hilfe eines besonderen Apparates jede Minute gemessen und notiert werden. Jedesmal werden die „Giftversuche" — d. h. die

[1] Der Redaktion am 5. September 1919 zugegangen.

[2] Arch. f. exper. Path. u. Pharm. 1908. Suppl.-Bd. Schmiedeberg-*Festschrift*, Nr. 53. S. 476. — *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 122 u. 125.

[3] *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 99; 1915. Bd. XXXII. S. 405; 1915. Bd. XXX. S. 97.

Versuche mit den zu prüfenden Substanzen — mit sog. „Normalversuchen“ verglichen, die mit destilliertem Wasser statt mit einer „Giftlösung“ ausgeführt wurden. In bezug auf die Berechnung der Versuchsergebnisse verweise ich auf meine nächstvorhergehende Abhandlung.[1] — Aus den 48 „Normalversuchen“ der ganzen, hier publizierten Versuchsreihe ist ein Mittelwert gezogen, woraus hervorgeht, daß in solchen Versuchen während 30 Minuten — der Dauer jeder Beobachtungsreihe — durchschnittlich eine Menge Sauerstoff, die 525 Teilstrichen des Meßrohres des Apparates entspricht, gemessen wurde.

Ich habe hier nur die KCl- und NaCl-Versuche in Kurven mitgeteilt, die für jede Minute den Verlauf der Sauerstoffentwicklung bei den verschiedenen geprüften Konzentrationen der resp. Salze in allen Einzelheiten wiedergeben. Die Kurven der übrigen Versuche habe ich zwar gezeichnet, um bei der Beschreibung der Resultate alles zu berücksichtigen, verzichte aber des Raumersparnisses wegen darauf, alle diese recht einförmigen Kurven abdrucken zu lassen. Aus den in der Tabelle unten mitgeteilten Angaben über die Teilstrichzahlen während der Minuten 1 bis 5, 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 und 1 bis 30 lassen sich die Kurven ziemlich gut rekonstruieren und die Hemmung bzw. die Beschleunigung des Enzymprozesses während der verschiedenen Zeitabschnitte der einzelnen Beobachtungsreihe nachweisen. In der Tabelle sind die Teilstrichzahlen, die eine beschleunigende Wirkung der untersuchten Körper im Vergleich mit den „Normalwerten“ aufweisen, mit fetteren Typen gedruckt.

Versuchstabelle I.

Substanz	Nr. d. Vers.	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten				
					1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
KCl, Kurve Nr. 1	1	N/1·78	4·19	19·3	26·5	49·5	46·1	**47·2**	142·8
	2	N/17·8	0·419	19·0	92·7	171·7	**135·8**	**103·6**	411·1
	3	N/89	0·084	19·0	145·3	281·0	**130·6**	**52·6**	464·2
	4	N/178	0·042	19·1	171·4	320·6	**141·2**	**51·4**	513·2
Normalversuch (Mittel aus 4 Vers.)	5	—	—	—	224·8	374·8	109·2	41·0	525·0

[1] *Dies Archiv.* 1919. Bd. XXXIX. S. 132.

(Fortsetzung.)

Substanz	Nr. d. Vers.	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten 1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
NaCl, Kurve Nr. 2	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	3·29	18·1	14·8	32·0	40·3	**46·0**	118·3
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·329	18·2	51·2	100·7	108·6	**96·1**	305·4
	3	$\frac{N}{89}$	0·066	18·1	77·7	196·2	**167·4**	69·2	432·8
	4	$\frac{N}{178}$	0·033	18·3	120·4	262·2	**128·5**	47·5	440·2
	5	$\frac{N}{1780}$	0·0033	19·1	**209·3**	352·1	101·2	36·2	489·5
Normalversuch (Mittel aus 6 Vers.)	6	—			196·7	367·6	117·8	39·6	525·0
KBr	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	6·69	19·3	14·0	32·5	44·0	50·2	126·7
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·669	19·4	25·8	62·8	93·6	**95·4**	251·8
	3	$\frac{N}{89}$	0·134	18·8	43·6	138·9	**184·1**	**122·1**	445·1
	4	$\frac{N}{178}$	0·067	18·9	75·9	248·8	**194·4**	**70·6**	513·8
	5	$\frac{N}{356}$	0·033	18·7	44·3	173·1	**169·3**	**108·6**	451·0
	6	$\frac{N}{890}$	0·013	19·0	95·0	275·6	**164·5**	49·9	490·0
	7	$\frac{N}{1780}$	0·0067	18·7	61·2	207·6	**198·5**	**118·9**	525·0
Normalversuch (Mittel aus 3 Vers.)	8	—			130·2	305·2	161·1	58·7	525·0
NaBr	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	5·97	20·7	60·1	109·0	**93·6**	**90·1**	292·7
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·579	20·1	124·8	243·6	**169·9**	74·0	482·5
	3	$\frac{N}{89}$	0·116	20·2	178·8	349·3	**122·4**	35·1	506·8
	4	$\frac{N}{178}$	0·058	20·2	252·7	391·3	89·1	29·0	509·4
	5	$\frac{N}{356}$	0·029	19·2	241·4	**415·4**	**100·7**	29·5	**545·7**
	6	$\frac{N}{890}$	0·012	19·3	221·1	382·8	**100·8**	29·4	513·0
Normalversuch (Mittel aus 3 Vers.)	7	—	—	—	254·1	402·5	89·9	32·6	525·0

(Fortsetzung.)

Substanz	Nr.d.Vers.	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten				
					1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
KOH	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	3·156	17·3	0·1	4·3	—	—	(13 ?)
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·316	17·5	0·6	5·0	—	—	(15 ?)
	3	$\frac{N}{178}$	0·032	17·5	2·3	8·3	14·1	—	(40 ?)
	4	$\frac{N}{534}$	0·0105	17·7	**223·4**	343·8	87·5	**42·4**	437·7
(Mittel aus 2 Vers.)	5	$\frac{N}{890}$	0·0063	17·6	**200·7**	**371·7**	128·0	**49·0**	**548·7**
	6	$\frac{N}{1246}$	0·0045	17·3	**201·1**	321·6	101·9	**47·2**	470·7
	7	$\frac{N}{1780}$	0·0032	17·8	162·2	345·6	**140·1**	**49·3**	**535·0**
Normalversuch (Mittel aus 2 Vers.)	8	—		—	187·1	359·1	125·9	40·0	525·0
NaOH	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	2·25	17·4	2·2	2·7	—	—	(9 ?)
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·225	17·5	9·5	18·5	—	—	(55 ?)
	3	$\frac{N}{142\cdot4}$	0·028	17·3	193·4	337·5	104·4	47·2	489·1
	4	$\frac{N}{178}$	0·023	17·6	**210·5**	346·0	**122·5**	58·2	**526·7**
	5	$\frac{N}{356}$	0·0112	17·5	**285·3**	**447·7**	76·6	24·3	**548·6**
	6	$\frac{N}{534}$	0·0075	17·4	208·1	**381·5**	**119·3**	41·8	**542·6**
	7	$\frac{N}{890}$	0·0045	17·4	**251·6**	**418·4**	89·3	22·9	**530·6**
Normalversuch (Mittel aus 3 Vers.)	8	—	—	—	209·1	371·3	111·8	41·9	525·0

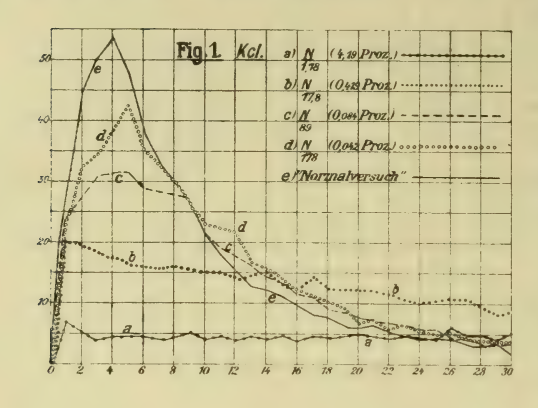
(Fortsetzung.)

Substanz	Nr.d.Vers.	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten 1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
K_2CO_3	1	$\frac{N}{3\cdot56}$	3·89	16·7	29·8	64·3	61·8	50·5	176·6
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·778	16·9	59·4	123·6	99·6	65·7	288·9
	3	$\frac{N}{178}$	0·078	16·7	119·2	252·2	174·9	64·2	464·3
	4	$\frac{N}{890}$	0·0156	15·9	123·1	282·5	132·8	48·2	463·5
	5	$\frac{N}{1780}$	0·0078	16·1	172·8	341·9	122·5	39·5	503·9
	6	$\frac{N}{2670}$	0·0052	16·5	209·7	403·5	129·1	36·4	569·0
	7	$\frac{N}{3560}$	0·0035	16·1	136·0	319·3	160·9	55·5	535·7
Normalversuch (Mittel aus 4 Vers.)	8		—	—	151·8	324·7	150·1	50·2	525·0
Na_2CO_3 (als wasserfreies Salz berechn.)	1	$\frac{N}{3\cdot56}$	2·981	15·7	4·5	10·0	—	—	(30?)
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·596	16·3	10·5	21·1	—	—	(60?)
	3	$\frac{N}{178}$	0·06	15·9	199·2	336·9	117·1	51·9	505·9
	4	$\frac{N}{890}$	0·012	16·6	203·2	319·9	91·5	41·0	452·4
	5	$\frac{N}{1780}$	0·006	16·8	228·7	350·7	95·3	39·8	485·8
	6	$\frac{N}{2670}$	0·004	17·2	230·6	363·2	91·8	35·0	490·0
	7	$\frac{N}{3560}$	0·003	18·1	203·0	363·9	116·2	37·4	517·5
	8	$\frac{N}{7120}$	0·0015	18·3	162·0	327·7	143·5	42·7	513·9
Normalversuch (Mittel aus 4 Vers.)	9	—	—	—	194·4	366·8	116·6	41·6	525·0

(Fortsetzung.)

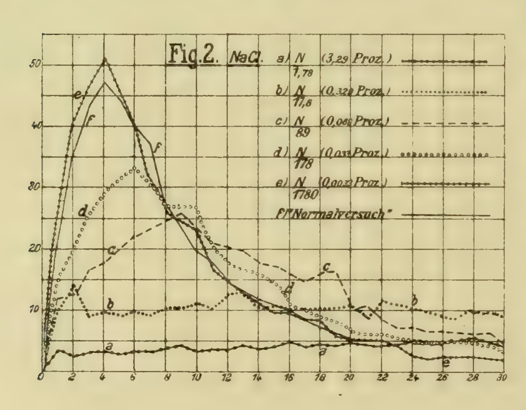
Substanz	Nr. d. Vers.	Molek. Konzentr.	Prozent der Lösung	Temp. des Wasserbades °C	Teilstrichzahlen während der Minuten				
					1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
K_2SO_4	1	$\frac{N}{3\cdot56}$	4·9	17·2	135·7	250·8	**121·3**	**53·8**	425·9
	2	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·98	17·4	137·5	263·9	**104·5**	**40·1**	508·5
	3	$\frac{N}{142\cdot4}$	0·123	17·7	**249·1**	387·4	89·7	29·4	506·5
(Mittel aus 5 Vers.)	4	$\frac{N}{178}$	0·098	—	**246·0**	385·3	96·8	36·7	518·8
	5	$\frac{N}{356}$	0·049	17·2	164·1	324·2	**138·7**	**51·4**	514·3
	6	$\frac{N}{890}$	0·018	17·0	183·0	359·7	**128·5**	**47·5**	**535·7**
	7	$\frac{N}{1780}$	0·0098	18·0	**263·6**	424·7	110·1	**38·4**	**573·2**
Normalversuch (Mittel aus 9 Vers.)	8	—	—	—	239·1	398·2	89·5	37·3	525·0
Na_2SO_4 (als wasserfrei berechnet)	1	$\frac{N}{1\cdot78}$	7·99	17·6	81·2	175·2	**135·9**	**88·3**	399·4
	2	$\frac{N}{3\cdot56}$	3·99	17·8	120·4	236·9	**150·2**	**78·6**	465·7
	3	$\frac{N}{17\cdot8}$	0·80	17·5	152·5	302·5	**172·8**	**65·0**	**540·3**
	4	$\frac{N}{35\cdot6}$	0·40	18·3	182·4	331·1	**133·4**	**53·4**	519·9
	5	$\frac{N}{89}$	0·16	18·1	171·2	320·7	**131·0**	**52·8**	504·5
(Mittel aus 2 Vers.)	6	$\frac{N}{142\cdot4}$	0·10	17·9	156·5	307·8	**130·8**	**42·7**	481·3
	7	$\frac{N}{178}$	0·08	17·7	154·5	317·8	**143·7**	**45·2**	506·7
	8	$\frac{N}{356}$	0·04	18·5	**263·0**	**407·9**	86·4	27·3	521·6
	9	$\frac{N}{890}$	0·016	18·4	**273·3**	**417·0**	69·5	20·0	506·5
Normalversuch (Mittel aus 6 Vers.)	10	—	—	—	215·4	388·2	110·0	26·8	525·0

Unter den untersuchten Salzen hat nur das Na_2SO_4 eine absehenswerte eigene Katalysewirkung, d. h. ohne Zusatz von Katalase, gezeigt (36 Teilstriche in 10 Minuten).



Wenn wir zuerst die Chloride, KCl und NaCl betrachten, finden wir, daß sie beide durchweg deprimierend gewirkt haben. Nur die schwächste Konzentration des Kochsalzes (NaCl, Nr. 5) hat anfangs den Katalaseprozeß etwas beschleunigt (vgl. Kurve 2, e und f).

Wenn die Enzymwirkung sich im Anfang rasch entwickelt, nimmt sie auch während des späteren Teils der Versuchsperiode schneller ab, was wesentlich davon abhängt, daß schon während der ersten Minuten verhältnismäßig viel von dem H_2O_2 zersetzt worden ist. Ist dagegen der Prozeß anfangs weniger energisch, sinkt die Kurve später langsamer herab, daher sieht man während der zweiten und dritten 10-Minutenperiode in den Salzversuchen oft höhere Werte als in den entsprechenden „Normalversuchen". Die Gesamtteilstrichzahlen (Min. 1 bis 30) sind jedoch in allen diesen Salzversuchen niedriger als in den „Normalversuchen".



Wenn wir dann die KCl-Versuche mit den NaCl-Versuchen vergleichen, finden wir, daß das NaCl den Katalaseprozeß stärker als das KCl deprimiert hat. Das geht aus einer Zusammenstellung der Teilstrichzahlen, besonders der Gesamtwerte derselben, für die einander entsprechenden Konzentrationen der beiden Salze hervor. Besonders groß ist der Unterschied bei der molekularen Konzentration N/17·8 (Tabelle I, KCl, 2 und NaCl, 2; Fig. 1, b und 2, b). Auch hat

KCl in der Konzentration N/178 einen höheren Gesamtwert gegeben als das NaCl in der Konzentration N/1780 (Tab. I, KCl, 4 und NaCl, 5).

In einem früheren Aufsatze[1] habe ich das $H_4N.Cl$ mit dem KCl und NaCl verglichen und dabei gefunden, daß das Ammoniumsalz zwischen den beiden anderen steht, in starker Lösung sich dem NaCl nähert, in schwächerer etwa so stark wie das KCl wirkt.

Gehen wir jetzt zu den Bromiden über, so sehen wir, daß auch diese im ganzen deprimierend gewirkt haben; doch hat das NaBr in der Konzentration N/365 eine beschleunigende Wirkung ausgeübt (vgl. Tab. I, NaBr, 5 und 7). Hier hat aber das Kaliumsalz dem Enzymprozeß stärker entgegengewirkt als das Natriumsalz, vor allem in den stärkeren Konzentrationen. Nur in der Konzentration N/178 ist das Verhältnis umgekehrt (Tab. I, KBr, 4 und NaBr, 4). Im ganzen hält das KBr anfangs den Verlauf mehr zurück — die Kurven steigen mehr allmählich empor, je stärker die Konzentration ist —, während beim NaBr die Kurven anfangs gleich steil aufsteigen, um an einem um so niedrigeren Niveau stehen zu bleiben, je stärker die Konzentration war. Das KBr hat in der schwächsten Konzentration (N/1780, Tab. I, KBr, 7) denselben Schlußwert wie der „Normalversuch" gegeben; auch diese sehr schwache Lösung hat aber anfangs den Prozeß recht stark deprimiert, um nachher das Verlorene einzuholen.

Folgen dann die beiden Hydroxyde, die, wie ich schon früher für das NaOH nachgewiesen habe[2], in höheren Konzentrationen den Katalaseprozeß sehr stark abschwächen, nahezu vernichten, während sie mit Abschwächung der Konzentration ziemlich plötzlich umschlagen und die Enzymwirkung mehr oder weniger kräftig fördern. Der Umschlagspunkt ist nicht näher fixiert worden, liegt aber für das KOH bei einer schwächeren Lösung (zwischen N/178 und N/534) als für das NaOH (zwischen N/17·8 und N/142; vgl. die Tabelle I).

Auch hier wirkt die Kaliumverbindung mehr abschwächend auf den katalytischen Prozeß ein als die Natriumverbindung — also dasselbe Verhältnis wie für die Bromide, entgegengesetzt wie für die Chloride.

Bei den Karbonaten begegnen uns Verhältnisse, die denjenigen der Chloride am meisten ähnlich sind. Als alkalisch reagierende

[1] *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 124.

[2] Archiv f. exper. Path. u. Pharm. 1908. Suppl.-Bd. Schmiedeberg-*Festschrift.* Nr. 53. S. 479. (Kurve, Fig. 6, S. 477.)

Verbindungen zeigen doch die Karbonate, besonders das Kaliumkarbonat, eine gewisse Tendenz, in schwachen Lösungen die Enzymtätigkeit zu fördern. In den schwächsten Konzentrationen (Tab. I, K_2CO_3, 6 und 7) hat das Kaliumkarbonat höhere Gesamtteilstrichzahlen als im „Normalversuch" zuwege gebracht. Das Natriumkarbonat zeigt seine fördernde Tendenz eigentlich darin, daß bei schwächeren Lösungen die Sauerstoffentwicklung anfangs sehr energisch einsetzt und während der ersten 5 Minuten höhere Werte als im „Normalversuch" hervorbringt (vgl. Tab. I, Na_2CO_3, 3 bis 7). Die Kurven fallen nachher rascher herab, so daß die Gesamtwerte niedriger als im „Normalversuch" ausfallen.

Wenn wir die beiden Karbonate untereinander vergleichen, hat das K_2CO_3 im ganzen den Enzymprozeß in stärkeren Konzentrationen weniger beeinträchtigt und in schwächeren Konzentrationen mehr gefördert als das Na_2CO_3. Nur in der molekularen Konzentration N/178 (Tab. I, Nr. 3 der beiden Reihen) ist zufällig das Umgekehrte der Fall. Das Na_2CO_3 hat Verhältnisse gezeigt, die an diejenigen der Hydroxyde erinnern: in starken Konzentrationen eine mehr deletäre Wirkung, dann ein rascher Umschlag und nachher eine Tendenz zur Beschleunigung, die jedoch, wie erwähnt, nicht zu höheren Gesamtwerten wie im „Normalversuch" führt. Das K_2CO_3 dagegen zeigt mit abnehmender Konzentration ein mehr allmähliches Ansteigen der Kurven, die für die schwächsten Konzentrationen sogar die „Normalkurve" überholen.

Was schließlich die Sulfate betrifft, geht erstens aus den Versuchen hervor, daß sie auch in starken Konzentrationen den Katalaseprozeß verhältnismäßig wenig beeinträchtigen. Lösungen von sehr verschiedener Stärke (N/17·8 bis N/890) haben Gesamtwerte gegeben, die recht wenig voneinander abweichen. Die beiden Salze zeigen übrigens in gewissen Konzentrationen eine fördernde Tendenz — K_2SO_4 in den schwächsten, Na_2SO_4 eher in ziemlich starken Lösungen; dieses Salz hat sogar in einer molekularen Konzentration von N/17·8 (Tab. I, Sulfate, Nr. 3) einen höheren Gesamtwert als der „Normalversuch" gegeben.

Wenn man die beiden Salze untereinander vergleicht, findet man, daß das Na_2SO_4 im ganzen und besonders in starker Lösung etwas überlegen ist, während das K_2SO_4 in den schwächsten Konzentrationen jenes Salz übertrifft und sogar höhere Gesamtwerte als der „Normalversuch" aufweist (Tab. I, K_2SO_4, Nr. 6 und 7). Innerhalb der ersten 5 bis

10 Minuten steigen mehrere Sulfatkurven steiler als die „Normalkurve“ empor (vgl. Tab. I, K_2SO_4, Nr. 3, 4 und 7; Na_2SO_4, Nr. 8 und 9). Durchschnittlich haben die beiden Sulfate ziemlich gleich gewirkt, jedoch mit einer gewissen Verschiebung bezüglich der Wirkung starker und schwacher Konzentrationen — zugunsten der starken für das Na_2SO_4, zugunsten der ganz schwachen für das K_2SO_4.

Früher habe ich auch das $(H_4N)_2SO_4$ im Vergleich mit den beiden anderen Alkalisulfaten untersucht[1] und dabei gefunden, daß das Ammoniumsalz in starker Lösung beinahe so stark wie das K_2SO_4 — d. h. stärker als das Na_2SO_4 — gehemmt hat, in schwächeren dagegen wie die beiden anderen Alkalisulfate den Enzymprozeß kräftig gefördert hat. Das $(H_4N)_2SO_4$ verhielt sich also hier ungefähr so wie das $H_4N.Cl$ zu den anderen Alkalichloriden. Übrigens trat in diesen älteren Versuchen die günstige Wirkung der Sulfate noch mehr als in den hier mitgeteilten hervor.

Von besonderer Bedeutung für die Wirkung eines Körpers auf den Katalaseprozeß ist oft der initiale Verlauf der Kurve, ob sie ein rasches oder ein mehr allmähliches Ansteigen aufweist. Wie es sich damit verhält, geht aus den Teilstrichzahlen der ersten 5 bis 10 Minuten (Tab. I) hervor. Ein rascheres Ansteigen als in den entsprechenden „Normalkurven“ kommt für die Halogenalkalien nur ganz vereinzelt in schwachen Lösungen vor (Tab. I, NaCl, Nr. 5; NaBr, Nr. 5). Die Alkalihydroxyde, Karbonate und Sulfate zeigen dagegen in mäßigen und schwachen Konzentrationen meistens dieses Verhalten (vgl. Tab. I, KOH, Nr. 4, 5 und 6; NaOH, Nr. 4, 5 und 7; K_2CO_3, Nr. 5 und 6; Na_2CO_3, Nr. 3 bis 7; K_2SO_4, Nr. 3, 4 und 7, sowie Na_2SO_4, Nr. 8 und 9).

Ein mehr allmähliches oder rasch unterbrochenes Ansteigen tritt im allgemeinen beim Einfluß von starken Lösungen hervor. Es macht sich auch im ganzen an den Kurven des NaCl, KBr, K_2CO_3 und Na_2SO_4 merkbar.

Aus sämtlichen hier besprochenen Versuchen geht schließlich hervor, daß die stärker hemmende Wirkung der Na-Ionen, wie sie im NaCl in Vergleich mit den K-Ionen in KCl hervortritt, nicht in allen anderen Verbindungen der Alkalimetalle in gleicher Weise sich geltend macht. Ein Blick auf die Zusammenstellung (S. 248) von der Rangordnung der untersuchten Substanzen

[1] *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 131.

in verschiedenen Konzentrationen zeigt eine recht „bunte" Reihe und bestätigt die schon früher bekannte Tatsache, daß die Anionen von größerer Bedeutung sind als die Kationen und daß übrigens die Sache sicherlich sehr verwickelt und kompliziert ist.

Es kann hier weiter von Interesse sein, sämtliche hier untersuchten Verbindungen in bezug auf ihre Wirkungen in verschiedenen Konzentrationen untereinander zu vergleichen. Ich stelle daher ihre Gesamtteilstrichwerte hier nochmals tabellarisch zusammen.

Tabelle II.

Molekulare Konzentrationen.

	$\frac{N}{1 \cdot 78}$	$\frac{N}{17 \cdot 8}$	$\frac{N}{178}$	$\frac{N}{890}$	$\frac{N}{1780}$
KCl	142·8	411·1	513·2	—	—
NaCl . . .	118·3	305·4	440·2		489·5
KBr . . .	126·7	251·8	513·8	490·0	525·0
NaBr . . .	292·7	482·5	509·4	513·0	—
KOH . . .	(13 ?)	(15 ?)	(40 ?)	**548·0**	**535·0**
NaOH . . .	(9 ?)	(55 ?)	**526·7**	**530·6**	
K_2CO_3 . .		288·9	464·3	463·5	503·9
Na_2CO_3 . .	—	(60 ?)	505·9	452·4	485·8
K_2SO_4 . .	—	508·5	518·8	**535·7**	**573·2**
Na_2SO_4 . .	399·4	**540·3**	506·7	506·5	—

Aus älteren Versuchen[1] stelle ich hier unten noch die Gesamtteilstrichzahlen für verschiedene andere Elektrolyten übersichtlich zusammen. Ich habe sie früher einmal miteinander verglichen[2], jedoch ohne die verschiedenen Konzentrationen jede für sich zu berücksichtigen, wodurch gewisse Einzelheiten verdeckt wurden. Die Werte sind, um mit denjenigen der Tabelle II vergleichbar zu werden, sämtlich auf den „Normalwert" 525 umgerechnet worden. In bezug auf diese Umrechnung möchte ich hervorheben, daß hier auf die absoluten Zahlen kein Gewicht gelegt wird, nur auf die Relationen zwischen den unter verschiedenen Bedingungen entwickelten Gasquantitäten.[3] — Die molekularen Konzentrationen stimmen in der Tabelle III nicht ganz mit denjenigen der in Tabelle I und II oben mitgeteilten Versuche überein, liegen aber denselben so nahe, daß ein Vergleich möglich zu sein scheint.

[1] *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 117ff.; 1915. Bd. XXXII. S. 409 bis 416, sowie Bd. XXXIII. S. 99 bis 132.

[2] *Dies Archiv.* 1915. Bd. XXXIII. S. 132 bis 135.

[3] Vgl. Schmiedeberg-*Festschrift*, a. a. O., S. 475.

Tabelle III.

		$\frac{N}{16\cdot5}$	$\frac{N}{165}$	$\frac{N}{1650}$	$\frac{N}{16500}$
KNO_3	—	[51 ?]	68·4	523·0	—
$NaNO_3$	—	20·5	41·7	254·5	**527·6**
$H_4N\cdot NO_3$	—	[23·8?]	[25 ?]	286·6	**530·2**
$KClO_3$	—	43·7	[51·6?]	[51·6?]	**467·2**
$KBrO_3$	—	132·5	339·4	**535·4**	—
KCN	—	21·6	[25 ?]	219·0	338·0
KJ	—	432·8	382·5	381·0	502·5
KFl[1]	$\left(\frac{N}{1\cdot8}\right)$ 412·5	$\left(\frac{N}{18}\right)$ 461·1	—	—	—
$CaCl_2$	$\left(\frac{N}{3\cdot9}\right)$ 182·9	$\left(\frac{N}{18}\right)$ 312·5	$\left(\frac{N}{180}\right)$ 502·8	—	—
$SrCl_2$	$\left(\frac{N}{2\cdot8}\right)$ 189·8	$\left(\frac{N}{28}\right)$ 348·8	$\left(\frac{N}{277}\right)$ 472·5	—	—
$BaCl_2$	$\left(\frac{N}{7\cdot6}\right)$ 238·5	$\left(\frac{N}{37}\right)$ 360·6	$\left(\frac{N}{366}\right)$ 525·0	—	—
$MgCl_2$	$\left(\frac{N}{3\cdot5}\right)$ 326·3	$\left(\frac{N}{18}\right)$ 405·2	$\left(\frac{N}{180}\right)$ 495·5	—	—
	$\frac{N}{1\cdot8}$	$\frac{N}{18}$	$\frac{N}{180}$	$\frac{N}{1800}$	$\frac{N}{18000}$
HNO_3	[106 ?]	[60 ?]	65·1	279·0	487·1
H_3PO_4	—	[73 ?]	[72 ?]	427·8	—
H_2SO_4	—	102·6	78·0	490·4	—
HCl	94·2	63·6	159·6	518·3	—
H_3O_3B	$\left(\frac{N}{4\cdot5}\right)$ **531·3**	**527·4**	**529·2**	—	—
$HgCl_2$	—	—	[100 ?]	431·0	503·0
$MnSO_4$	—	346·5	401·1	**565·4**	—
$AgNO_3$	—	—	$\left(\frac{N}{90}\right)$ [60 ?]	$\left(\frac{N}{900}\right)$ 385·0	524·7
$CuSO_4$	$\left(\frac{N}{2\cdot9}\right)$ [105 ?]	359·4	162·2	502·5	$\left(\frac{N}{9000}\right)$ **528·6**
$ZnCl_2$	—	329·6	467·0	—	—
$ZnSO_4$	$\left(\frac{N}{9}\right)$ 470·7	427·4	433·2	$\left(\frac{N}{900}\right)$ **542·4**	—
$FeSO_4$	—	214·5	134·0	450·3	**526·1**
Fe_2Cl_6	—	116·9	[16·2?]	117·2	501·8
H_3AsO_3	—	—	$\left(\frac{N}{154}\right)$ 362·0	$\left(\frac{N}{475}\right)$ **553·7**	$\left(\frac{N}{950}\right)$ 506·7
H_3AsO_4	—	$\left(\frac{N}{25}\right)$ [10 ?]	167·7	$\left(\frac{N}{900}\right)$ **568·2**	507·0
$NaAsO_2$	—	182·7	518·3	—	—
Na_3AsO_4	—	462·5	446·6	479·9	—

[1] Vgl. *Dies Archiv.* 1915. Bd. XXXIII. S. 151 (Nachschrift).

Nach den Zahlen der Tabellen II und III oben lassen sich die Substanzen für die verschiedenen Konzentrationen in folgenden Reihen ordnen, die wohl nicht in Einzelheiten als genau fixiert zu betrachten sind, jedoch das allgemeine Verhalten angeben dürfen. Die Gesamtteilstrichzahlen sind zwischen Klammern beigefügt. Die weniger hemmenden oder die fördernden Substanzen stehen zuerst, die stärker hemmenden oder deletär wirkenden zuletzt; die fördernden sind fett gedruckt.

Tabelle IV.

I. Mol. Konz. N/1·78 (bis N/9):

H_3O_3B	(531)	$BaCl_2$	(238)	HNO_3	(106)
$ZnSO_4$	(470)	$SrCl_2$	(190)	$CuSO_4$	(105)
KFl	(413)	$CaCl_2$	(183)	HCl	(94)
Na_2SO_4	(399)	KCl	(143)	KOH	(13)
$MgCl_2$	(326)	KBr	(127)	NaOH	(9)
NaBr	(293)	NaCl	(118)		

II. Mol. Konz. N/17·8 (N/16·5 bis N/37):

Na_2SO_4	(540)	$SrCl_2$	(349)	H_3PO_4	(73)
H_3O_3B	(527)	$MnSO_4$	(347)	HCl	(64)
K_2SO_4	(509)	$ZnCl_2$	(330)	HNO_3	(60)
NaBr	(483)	$CaCl_2$	(313)	Na_2CO_3	(60)
Na_3AsO_4	(463)	NaCl	(305)	NaOH	(55)
KFl	(461)	K_2CO_3	(289)	KNO_3	(51)
KJ	(433)	KBr	(252)	$KClO_3$	(44)
$ZnSO_4$	(427)	$FeSO_4$	(215)	$H_4N.NO_3$	(24)
KCl	(411)	$NaAsO_2$	(183)	KCN	(22)
$MgCl_2$	(405)	$KBrO_3$	(133)	$NaNO_3$	(21)
$BaCl_2$	(361)	Fe_2Cl_6	(117)	KOH	(15)
$CuSO_4$	(359)	H_2SO_4	(103)	H_3AsO_4	(10)

III. Mol. Konz. N/178 (N/165 bis N/366):

H_3O_3B	(531)	$ZnCl_2$	(467)	$HgCl_2$	(100)
NaOH	(527)	K_2CO_3	(464)	H_2SO_4	(78)
$BaCl_2$	(525)	Na_3AsO_4	(447)	H_3PO_4	(72)
K_2SO_4	(519)	NaCl	(440)	KNO_3	(68)
$NaAsO_2$	(518)	$ZnSO_4$	(433)	HNO_3	(65)
KBr	(514)	$MnSO_4$	(401)	$AgNO_3$	(60)
KCl	(513)	KJ	(383)	$KClO_3$	(52)
NaBr	(509)	H_3AsO_4	(362)	$NaNO_3$	(42)
Na_2SO_4	(507)	$KBrO_3$	(339)	KOH	(40)
Na_2CO_3	(506)	H_3AsO_4	(168)	$H_4N.NO_3$	(25)
$CaCl_2$	(503)	$CuSO_4$	(162)	KCN	(25)
$MgCl_2$	(496)	HCl	(160)	Fe_2Cl_6	(16)
$SrCl_2$	(473)	$FeSO_4$	(134)		

Tabelle IV (Fortsetzung).

IV. Mol. Konz. N/890 (bis N/950):

H_3AsO_4	(568)	**NaOH**	(531)	KBr	(490)
KOH	(548)	NaBr	(513)	K_2CO_3	(464)
$ZnSO_4$	(542)	H_3AsO_3	(507)	Na_2CO_3	(452)
K_2SO_4	(536)	Na_2SO_4	(507)	$AgNO_3$	(385)

V. Mol. Konz. N/1780 (N/1650 bis N/1800):

K_2SO_4	(573)	$CuSO_4$	(503)	KJ	(381)
$MnSO_4$	(565)	H_2SO_4	(490)	$H_4N.NO_3$	(287)
$KBrO_3$	(535)	NaCl	(490)	HNO_3	(279)
KOH	(535)	Na_2CO_3	(486)	$NaNO_3$	(255)
KBr	(523)	Na_3AsO_4	(480)	KCN	(219)
KNO_3	(523)	$FeSO_4$	(450)	Fe_2Cl_6	(117)
HCl	(518)	$HgCl_2$	(431)	$KClO_3$	(52)
K_2CO_3	(504)	H_3PO_4	(428)		

VI. Mol. Konz. N/16500 (bis N/18000):

$H_4N.NO_3$	(530)	H_3AsO_4	(507)	HNO_3	(487)
$NaNO_3$	(528)	$HgCl_2$	(503)	$KClO_3$	(467)
$FeSO_4$	(526)	KJ	(503)	KCN	(338)
$AgNO_3$	(525)	Fe_2Cl_6	(502)		

(Das KCN setzt noch in einer Konzentration von N/165000 die Enzymtätigkeit um nahe 20 Proz. herab.[1]

In den starken Konzentrationen, Gruppen I und II, finden wir also:

a) als fördernd oder ganz schwach hemmend: die Alkalisulfate, das Zinksulfat, das KFl und die Borsäure, die eigentümlicherweise weder in starker noch in schwächerer Lösung irgendwelche bedeutende Wirkung entfaltet hat;

b) als mäßig hemmend: die Halogenalkalien (am wenigsten NaBr und KJ, am meisten KBr und NaCl); weiter die Chloride von Magnesium und der alkalischen Erde (in der Ordnung: $BaCl_2 > SrCl_2 > CaCl_2$), sowie gewisse Metallsalze ($CuSO_4 > MnSO_4 > FeSO_4$), wozu noch K_2CO_3 und $KBrO_3$ hinzukommen;

c) als stark hemmend oder gar deletär: Fe_2Cl_6, Na_2CO_3, $KClO_3$, die Säuren (in der Ordnung: H_2SO_4, $HCl > H_3PO_4 > HNO_3$), die Nitrate ($KNO_3 > H_4N \cdot NO_3 > NaNO_3$), das KCN, die Alkalihydrate und schließlich das H_3AsO_4.

[1] Schmiedeberg-*Festschrift*, a. a. O., S. 479 und Kurve, Fig. 5, S. 476.

In mäßig starker Konzentration — Gruppe III — begegnen wir weiter:

a) als schwach fördernd oder indifferent: die **Borsäure** und die **Natronlauge;**

b) als ganz schwach hemmend: $BaCl_2$, die Alkalisulfate; weiter KBr, KCl, NaBr, Na_2CO_3 und $CaCl_2$;

c) als mäßig stark hemmend: $MgCl_2$, $SrCl_2$, $ZnCl_2$, K_2CO_3, NaCl, $ZnSO_4$, $MnSO_4$, KJ und $KBrO_3$;

d) als stark hemmend und deletär wirkend: gewisse Metallsalze ($CuSO_4 > FeSO_4 > HgCl_2$), die Säuren ($HCl > H_2SO_4 > H_3PO_4 > HNO_3$), $KClO_3$, die Nitrate ($KNO_3 > AgNO_3 > NaNO_3 > H_4N.NO_3$), KOH, KCN und Fe_2Cl_6.

In den schwächsten Konzentrationen — Gruppen IV, V und VI — endlich finden wir:

a) als fördernd oder schwach hemmend: $\mathbf{H_3AsO_4}$, die **Alkalihydrate, -sulfate** und **-karbonate, das $\mathbf{ZnSO_4}$, $\mathbf{MnSO_4}$** und $\mathbf{KBrO_3}$ — in schwächster Lösung sogar das $\mathbf{H_4N.NO_3}$, $\mathbf{NaNO_3}$ und $\mathbf{FeSO_4}$;

b) als mäßig hemmend: die Halogenalkalien (auch das KCN), die Alkalinitrate, gewisse nicht eben erwähnte Metallsalze und die Säuren in „bunter" Reihe;

c) als immerfort stark hemmend nur noch Fe_2Cl_6 und $KClO_3$ (in der molekularen Konzentration N/1800 bzw. N/1650). Bei noch stärkerer Verdünnung verlieren schließlich auch diese Salze ihre schlimme Wirkung.

Unter den in Tabelle III zuletzt erwähnten Arsenverbindungen haben in starker Lösung besonders das H_3AsO_4 sehr kräftig hemmend gewirkt, dann das $NaAsO_2$; Na_3AsO_4 dagegen schwach. In verdünnter Lösung (N/475 bzw. N/900) haben die beiden Hydrate den Enzymprozeß begünstigt.

Wenn wir aus dem bunten Gewirr der hier gemachten Angaben einige Grundzüge ausziehen wollen, so ist folgendes zu bemerken:

1. In allen Konzentrationen entweder günstig, unwirksam oder nur schwach hemmend hervortreten: die Alkalisulfate, die Borsäure und — eigentümlicherweise — auch das Fluorkalium.

2. In allen Konzentrationen — außer den allerschwächsten — hemmend oder sogar deletär wirkten: das Fe_2Cl_6, die Nitrate, die Säuren und das $KClO_3$. Hierzu ist noch das KCN zu rechnen.

3. In starker Lösung kräftig hemmend, in mäßiger und schwacher dagegen fördernd — und zwar mit ziemlich plötzlichem Umschlag — wirkten die Alkalihydroxyde (vgl. oben S. 243). Eine ähnliche Tendenz zeigten auch die Alkalikarbonate und das H_3AsO_4.

4. Eine mittlere Stellung, mit wechselnder Ordnung in verschiedenen Konzentrationen, zeigten die Alkalichloride, die Erdalkalichloride und das $MgCl_2$, sowie gewisse Metallsalze und das $KBrO_3$.

5. Die Alkalinitrate nehmen meistens die gegenseitige Ordnung $KNO_3 > H_4N.NO_3 > NaNO_3$ ein — also wie die Alkalichloride.

6. Die Säuren weisen die Reihe H_2SO_4, $HCl > H_3PO_4 > HNO_3$ auf.

7. Ein eigentümliches Verhalten charakterisierten, wie früher näher besprochen worden ist[1], das KJ, das $CuSO_4$ sowie die Zn- und Fe-Salze, indem sie selbst — ohne Gegenwart von Katalase — recht stark katalytisch wirken und daher mit Katalase in starker Lösung die Sauerstoffentwicklung schwächer hemmen als in mittelstarker — oder dieselbe sogar begünstigen —, während sie in ganz schwachen Lösungen wiederum den Prozeß in mehr günstiger Richtung beeinflussen. Diese Eigentümlichkeit habe ich als den „inversen Wirkungstypus" bezeichnet.

Auf die etwaige Bedeutung dieser Versuche möchte ich hier nur in allgemeinen Zügen eingehen. In Zusammenhang mit der Beschreibung einiger Experimente über den Einfluß von Elektrolyten auf kolloidalen Metallen nach derselben Methode werde ich versuchen, der theoretischen Deutung meiner früheren Arbeiten auf diesem Gebiete näher zu treten und dabei die einschlägige Literatur[2] berücksichtigen.

Hier also nur einige vorläufige Bemerkungen:

Das Problem der Katalasewirkung wie der Enzymwirkungen überhaupt liegt bekanntlich auf dem Gebiete der Kolloidchemie. Es handelt sich hier um die Zerlegung von H_2O_2 in Berührung mit gewissen körnigen oder feinflockigen Zellbestandteilen oder Zellresten, wobei nicht näher bekannte Prozesse — eventuell ein adsorptives oder chemisches Binden und nachher Losmachen des Enzymes — sich abspielen.

[1] Vgl. *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXIII. S. 136 ff., sowie 1915. Bd. XXIII. S. 113 bis 130.

[2] Vgl. C. Oppenheimer: *Die Fermente und ihre Wirkungen.* Leipzig 1910.

Von der Bedeutung der kleinen Flocken in dem benutzten Muskelplasma habe ich mich durch ein paar einfache Experimente überzeugt. Ich habe nämlich in einem Versuch das Plasma durch ein doppeltes gewöhnliches Papierfilter laufen lassen, wobei es beinahe klar wurde. In einem zweiten Versuch benutzte ich ein einfaches Filtrum mit einem ganz kleinen Loch an der Spitze, so daß gröbere Flocken zurückgehalten wurden, kleinere aber hindurchliefen und ein weniger klares Filtrat erhalten wurde. Mit diesen beiden Flüssigkeiten wurden Experimente in gewöhnlicher Weise ausgeführt, die mit „Normalversuchen" mit gewöhnlichem, stark trübem und flockigem Muskelplasma verglichen wurden. Es wurden also jedesmal in der kleinen Glasampulle des Apparates 1 ccm destilliertes Wasser, 10 Tropfen des betreffenden Muskelplasmas und nachher 0·5 ccm der verdünnten H_2O_2-Lösung gemischt. Das Resultat geht aus folgenden Zahlen und aus der Fig. 3 hervor.

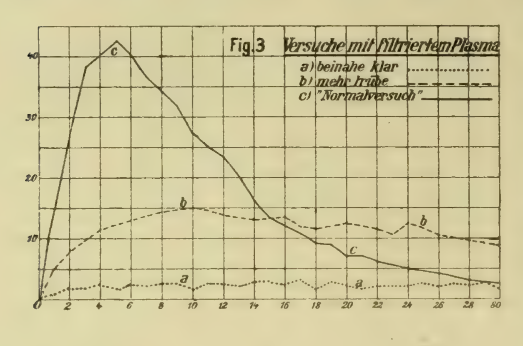


Tabelle V.

Beschaffenheit des Muskelplasmas	Teilstrichzahlen während der Minuten				
	1—5	1—10	11—20	21—30	1—30
2 mal filtriert (beinahe klar)	8·6	20·1	25·4	23·5	69·0
1 mal filtriert (trübe)	46·5	117·7	130·8	117·0	365·5
„Normalversuch" (Mittel aus 2 Vers.)	163·1	333·6	145·8	45·6	525·0

Daß hier das Enzym aus kleinen Flocken besteht oder an solchen intim gebunden (adsorbiert?) ist, geht aus diesen Beobachtungen klar hervor — wenn nun noch ein solcher Nachweis nötig wäre. Das Resultat stimmt mit den allgemeinen Vorstellungen des Zusammenhanges gut überein.

Das bei den Versuchen benutzte Muskelplasma ist natürlich ein sehr kompliziertes Ding, u. a. Flocken und Körner aus Eiweiß, gewisse Salze — auch Kalkverbindungen — usw. enthaltend. Diese Neben-

bestandteile sind natürlich in geringen Mengen vorhanden, die übrigens in den zu vergleichenden Versuchen ungefähr gleich groß sind. Daß der Zusatz von Elektrolyten allerlei Art in starken Konzentrationen hemmend wirkt, stimmt mit aller Erfahrung überein. Solche können entweder ein Zusammenballen der Flocken bedingen oder, wenn es sich z. B. um alkalisch reagierende Verbindungen handelt, dieselben auflösen — also eine wahre Lösung statt eine kolloidale darstellen — oder noch andere Veränderungen der „Oberflächenkräfte“ hervorrufen, und zwar in der Weise, daß die Enzymtätigkeit darunter mehr oder weniger leidet, unter Umständen geradezu vernichtet wird.

Wenn man statt einer Lösung von Elektrolyten dieselbe Menge destillierten Wassers zufügt, geht daher meistens der Enzymprozeß — wenn es sich um unsere Katalase handelt — besser vonstatten. Ich habe daher die Versuche mit Aq. dest. als sog. „Normalversuche“ benutzt. Anfangs versuchte ich für diesen Zweck die physiologische Kochsalzlösung, fand aber sofort, daß sie die Enzymtätigkeit stark hemmte.

Andererseits gibt es Elektrolyten, deren Ionen in gewissen, meistens verdünnten Konzentrationen, den untersuchten Prozeß begünstigen, die als wahre Acceleratoren wirken, so daß in Vergleich mit den entsprechenden „Normalversuchen“ eine Beschleunigung des Enzymprozesses und sogar eine Vermehrung des Produktes, d. h. des entwickelten Sauerstoffs, innerhalb der jedesmaligen Observationszeit hervorkommt.

Aus den oben S. 246 bis 251 zusammengestellten Resultaten lassen sich bezüglich der Wirkung der verschiedenen Ionen auf den Enzymprozeß gewisse Schlüsse ziehen. Die größte Bedeutung kommt hierbei, wie gewöhnlich, den Anionen zu, und diese lassen sich in etwa folgender Reihe ordnen:

$$SO_4,\ PO_4{}^{1} > Fl \geq Br > J > CO_3 > Cl > BrO_3 > ClO_3 > NO_3 > CN\ ,$$

wo das erste Glied am wenigsten hemmend (oder fördernd) gewirkt hat, das letzte dagegen am meisten schädlich.

Wenn man aber verschiedene Salze mit demselben Anion und in gleichen molekularen Konzentrationen, z. B. eine Reihe von Chloriden untereinander vergleicht, sind auch zwischen den Kationen gewisse

---

[1] Die Stellung der PO_4-Ionen ist nach Versuchen mit Na_2HPO_4 bestimmt worden, die teils früher (vgl. *Dies Archiv*, 1909, Bd. XXIII, S. 139), teils gleichzeitig mit den hier oben zuerst beschriebenen Experimenten ausgeführt worden sind.

Unterschiede hervorgetreten, welche die Aufstellung einer Kationenreihe zulassen. Nebst Chloriden habe ich hier auch einige Sulfate herangezogen, die ich unten zwischen Klammern angebracht habe. Die Reihe bekommt folgendes Aussehen:

$$Mg > Zn > Ba > K > Sr > Ca > Na > [Mn > Cu >] Fe .$$

Diese Reihe hat aber bekanntlich keine allgemeine Gültigkeit. So haben z. B. für die Bromide und die Hydroxyde die K-Ionen stärker hemmend als die Na-Ionen gewirkt, während bei den Nitraten umgekehrt die Na-Ionen, wie in der angeführten Chloridenreihe, stärker als die K-Ionen den Enzymprozeß beschränkt haben.

Unter den untersuchten Anionen haben die SO_4-Ionen am schwächsten hemmend oder im Gegenteil fördernd gewirkt — ein schon früher bemerktes Verhältnis. Der Gedanke wird dabei auf die Möglichkeit hingeleitet, daß diese Ionen hier gewiß mit Ca-Verbindungen im Plasma, in den Körnern, in Berührung treten und daß dabei vielleicht die Form und die Oberflächenspannung der kleinen Flocken in günstiger Weise verändert werden könnten. Wenn die SO_4-Ionen mit $K^{\cdot}$ bzw. mit Na-Ionen zusammen vorkommen, scheint dies den Effekt zu haben, daß jene die ganz schwachen, diese eher gewisse etwas stärkere Konzentrationen begünstigen. Die Ursache dieses Verhaltens entzieht sich meinem Urteil.

Das Verhalten der OH-Ionen in den Alkalihydroxyden, schon früher gut bekannt, tritt hier schön zutage. In starken Lösungen beschädigen und töten sie sogar das Enzym, wahrscheinlich weil sie die feinen Körner und Flocken auflösen, so daß eine echte Lösung entsteht, wobei das katalytische Vermögen des Plasmas verloren geht. Es ist wohl dann anzunehmen, daß sie in schwächeren Lösungen die Dispersion der Flocken steigern, ohne sie wirklich zu lösen, wobei sie den enzymatischen Prozeß begünstigen. Der ziemlich plötzliche Umschlag von einer stark schädigenden zu einer stimulierenden Wirkung der Alkalihydroxyde liegt vermutlich eben bei derjenigen Konzentration, wo die wahre Lösung zu einer fein-dispersen kolloidalen Lösung übergeht, welche letztere die Enzymtätigkeit lebhaft hervortreten läßt.

Für das KCN kann wohl in starken Lösungen die alkalische Reaktion in Betrachtung kommen. Da aber auch die HCN sehr stark schädlich wirkt, muß natürlich eine spezifische Wirkung der CN-Ionen die Hauptrolle spielen.

Wenn man die Wirkung von KOH und NaOH in gleicher molekularer Konzentration miteinander vergleicht, findet man die Hemmung der Kaliumverbindung stärker hervortreten; der Umschlag zwischen Hemmung und Förderung geschieht für das KOH bei einer bedeutend schwächeren Konzentration als für das NaOH (vgl. Tab. I, KOH, Nr. 4, und NaOH, Nr. 3). Man wird hier daran erinnert, daß in der sogen. „Kationenreihe" die K-Ionen stärker lösend wirken als die Na-Ionen.

Für die CO_3-Ionen treten gewissermaßen ähnliche Verhältnisse auf wie für die OH-Ionen der Alkalihydroxyde — zuerst starke Hemmung, dann Förderung oder Tendenz dazu — und hier ist auffallenderweise die Depression bei der Na-Verbindung entschieden stärker ausgesprochen. Auch hier, wie für die SO_4-Ionen ist eine Beziehung zum Ca mit Ausfällung von $CaCO_3$ denkbar, womit eine Veränderung der Wirkungsbedingungen des Enzymes möglich wäre. (Ob und wie eine solche Veränderung das Verhalten der Kationen beeinflussen könnte, läßt sich kaum übersehen.)

Was weiter die Halogenalkalien betrifft, sind die Ergebnisse wechselnd und die Unterschiede nicht selten so geringfügig, daß die Rangordnung derselben zuweilen durch Zufälligkeiten oder Unvollkommenheiten der Methode bedingt sein könnte. Nach der „lyotropischen Reihe" sollen die Cl-Ionen stärker fällen als die Br-Ionen, die Na-Ionen stärker als die K-Ionen, und man findet daher fast immer das NaCl als am meisten hemmend — und zwar oft in bedeutendem Maße — die Br-Ionen dagegen am wenigsten. Einmal wirkt das NaBr weniger hemmend, ein andermal das KBr, was wohl damit zusammenhängen kann, daß die Reihenfolge der Kationen weniger regelmäßig ist, und auch damit, daß die Kationen überhaupt eine untergeordnete Rolle spielen. In einem Falle, bei der molekularen Konzentration N/17·8, hat jedoch das KBr sogar stärker gehemmt als das NaCl (vgl. Tab. I, KBr, Nr. 2, und NaCl, Nr. 2).

Die Reihe der Erdalkaliionen ist, nach den Chloriden zu urteilen: Ba > Sr > Ca (nur in verhältnismäßig schwachen Lösungen, die nur wenig oder kaum mehr wirksam sind, ist eine andere Ordnung zu spüren). Die Ca-Ionen sind ja im ganzen physiologisch sehr bedeutungsvoll, besonders für viele Enzyme, deren Tätigkeit sie entweder begünstigen oder herabsetzen. Schwächer als die Erdalkaliionen wirken die Mg-Ionen, was wohl im ganzen mit ihrem chemischen Verhalten übereinstimmt. Mit der allgemeinen Giftigkeit der betreffenden Ionen hat ihre Wirkung auf den Katalaseprozeß nichts zu tun: das zeigt hier die Stellung der Ba-Ionen aufs deutlichste.

Ebenso deutlich tritt dies durch die Stellung der Fl-Ionen in der Anionenreihe (S. 253 oben) hervor. Diese weicht von der bekannten „lyotropischen Reihe“ der Anionen in mehreren Beziehungen ab. Das Fällungsvermögen dieser Ionen ist wohl hier nicht das einzige bedeutungsvolle Moment.

Durch die Darstellung der hier besprochenen Vermutungen über die etwaige Bedeutung meiner Resultate aus dem Gesichtspunkt der Kolloidchemie habe ich natürlich nicht gemeint, die betreffenden Probleme gelöst zu haben, sondern nur auf die Richtung einer solchen Lösung hinweisen wollen. Übrigens sind ja die hier dargelegten Ansichten zum Teil schon früher ausgesprochen worden. Es könnte jedoch, so habe ich gedacht, von Interesse sein, die Tatsachen nach einer einheitlichen und für den Vergleich geeigneten Methode nochmals zu beleuchten.

SKANDINAVISCHES

ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. E. A. HOMÉN UND PROF. DR. CARL TIGERSTEDT IN HELSINGFORS, PROF. DR. V. HENRIQUES UND PROF. DR. AUG. KROGH IN KOPENHAGEN, PROF. DR. T. THUNBERG IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON UND PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. GUSTAF GÖTHLIN, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPSALA

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

EHEMAL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

VIERZIGSTER BAND.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN IM TEXT.



BERLIN UND LEIPZIG 1920

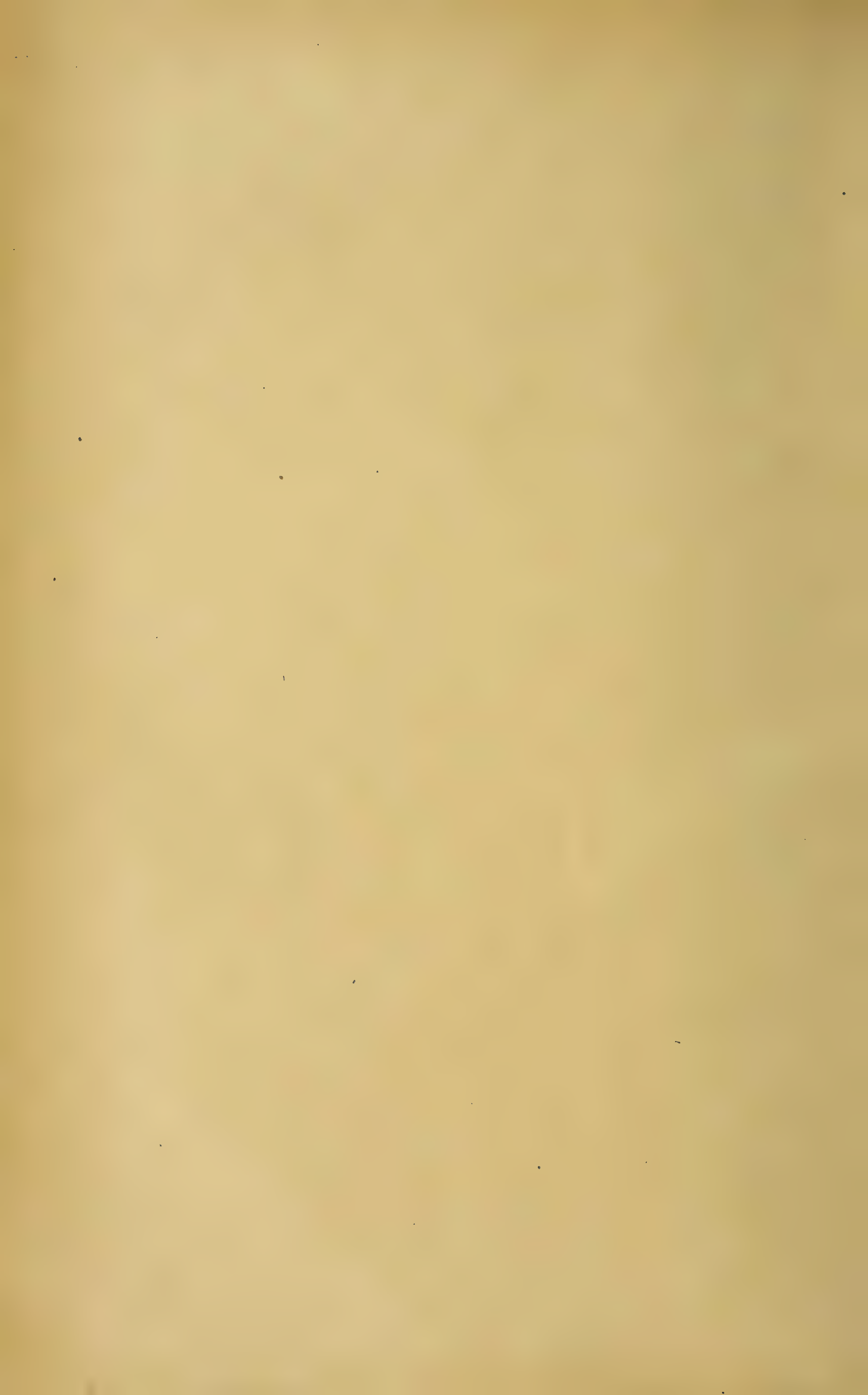
VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER

WALTER DE GRUYTER & CO.

VORMALS G. J. GÖSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG :: J. GUTTENTAG, VERLAGSBUCHHANDLUNG :: GEORG REIMER :: KARL J. TRÜBNER :: VEIT & COMP.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.



Zur Kenntnis des intermediären Stoffwechsels und der dabei wirksamen Enzyme.[1]

Von

Torsten Thunberg.

(Aus dem Physiologischen Institut zu Lund, Schweden.)

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Es sind nun bald 70 Jahre her, seitdem Schoenbein in seinem klassischen Vortrage in der „Naturforschenden Gesellschaft in Basel“[2] auf die Wahrscheinlichkeit hinwies, daß zwischen dem Anfangsstadium und dem Endstadium auch scheinbar sehr einfacher chemischer Prozesse verschiedene Zwischenglieder eingeschoben sind, gleichwie auch sonst „es mehr Ding' im Himmel und auf Erden gibt, als unsere Schulweisheit

---

[1] Der Redaktion am 28. Juli 1919 zugegangen.

[2] C. F. Schoenbein, Über den Einfluß des Quecksilbers auf die chemische Tätigkeit des Sauerstoffs. *Journ. f. prakt. Chem.* 1852. Bd. LV. S. 9.

sich träumen läßt". Und kräftig betonte er, daß für ihn die Erforschung dieser Zwischenprozesse „den wichtigsten Teil der Chemie, die eigentliche Dynamik dieser Wissenschaft" bilde. Überall in der Chemie ist nun diese Schoenbeinsche Auffassung durchgedrungen, wenn auch vielleicht die Fortschritte auf diesem Gebiete nicht so rasch wie auf vielen anderen gewesen sind. Hierbei dürften die ziemlich bedeutenden Schwierigkeiten bei der Klarstellung der Zwischenprozesse mitgespielt haben; was aber im besonderen die vitalen Prozesse betrifft, so stand lange der in der Physiologie dominierende Protoplasmabegriff dem Studium der Zwischenprozesse hindernd im Wege. Solange man der Ansicht war, daß das chemische Geschehen innerhalb der Zellen an gewisse große, labile Moleküle gebunden war, in welche z. B. die zugeführten Nährstoffe zuerst aufgenommen werden mußten, bevor sie unter Oxydation in Wasser und Kohlensäure umgewandelt wurden, solange hatte man in seinen Vorstellungen die Aussichten auf eine Lösung der Probleme des intermediären Stoffwechsels so trostlos gemacht, daß sie wenig zu einer Bearbeitung verlockten. Wie Hopkins in einem gedankenreichen Vortrage über „The dynamic side of Biochemistry"[1] hervorhebt, war dieser alte Protoplasmabegriff „as inhibitory to productive thought as it is lacking in basis". Nun ist er auch allgemein aufgegeben. Man sucht nun die materielle Grundlage des Lebens nicht in labilen Riesenmolekülen, „Biogengruppen", oder wie man sie nun benennen will, sondern der modernen Forschung ist die Zelle ein heterogenes, vielphasiges System, in welchem die eintretenden Nährstoffe einer ganzen Reihe Enzymen begegnen, unter deren Einwirkung sie umgewandelt werden. Daß einige Substanzen, die wir als ziemlich stabil anzusehen gewohnt sind, so leicht innerhalb der Zellen umgesetzt werden, braucht also nach dieser Auffassung nicht darauf zu beruhen, daß sie durch Einverleibung in ein labiles Protoplasmamolekül selbst labil werden. Sie werden sozusagen labil unter Beibehaltung ihrer chemischen Identität und deshalb, weil die Zellen über für ihre Konfiguration eingerichtete chemische Werkzeuge in ihren Enzymen verfügen. Von dieser modernen Auffassung aus kann man sich wohl denken, daß ein in die Zelle eingetretenes Nährstoffmolekül, z. B. ein Zuckermolekül, auf dem Wege zu den Endprodukten Kohlensäure und Wasser hin nur aus chemischem Gesichtspunkt sehr einfache Stadien passiert, Stoffe repräsentierend, die der organischen Chemie wohlbekannt sind.

---

[1] F. Gowland Hopkins, *British Medical Journal*. 1913. Vol. II. p. 713.

Es ist klar, daß die Erforschung der Zwischenstadien in der Reaktionskette, die unsere Nährstoffe durchlaufen, bevor das Endstadium erreicht wird, als eine sehr viel lohnendere Aufgabe erscheint, wenn man von der eben skizzierten Auffassung des chemischen Geschehens in den Zellen ausgeht. Natürlich darf man jedoch dabei nicht vergessen, daß neben einem derartigen einfachen, oxydativen Zerfall stets andere Prozesse vor sich gehen. Gleich katalytischen Prozessen im allgemeinen, sind auch die biokatalytischen Prozesse durch Reversibilität ausgezeichnet, und in Übereinstimmung hiermit dürften Spaltungsprozesse und Oxydationsprozesse durch Synthesen und Reduktionsprozesse kompliziert werden. Hierzu kommt, daß, wenn auch der oxydative Zerfall der Nährstoffe innerhalb der Zellen prinzipiell sich als ein Passieren durch aus chemischem Gesichtspunkt bekannte Stoffe denken läßt, es doch mit großen Schwierigkeiten verknüpft sein kann, zu entdecken, welche diese Stadien in Wirklichkeit sind.

Da im nachstehenden eine neue Methode zum Studium des Verlaufes des intermediären Stoffwechsels mitgeteilt werden wird, dürfte es zweckmäßig sein, kurz über die verschiedenen Prinzipien zu berichten, die bisher bei diesbezüglichen Studien zur Anwendung gekommen sind.

Die direkte analytische Methode. Aus theoretischen Gründen ist man berechtigt zu postulieren, daß während des in einem Organ oder einem Organismus vor sich gehenden Stoffwechsels sämtliche Zwischenstadien dort vertreten sind, die ein Stoff, z. B. Zucker, während seiner Umsetzung durchläuft. Erhebt man gegen diese Behauptung den Einwand, daß vielleicht gewisse Substanzen bereits in statu nascendi umgesetzt werden, so ist darauf zu antworten, daß alle Naturprozesse, und daher auch alle chemischen Prozesse, in der Zeit verlaufen, und daß der Ausdruck, daß eine Substanz bereits im Augenblick ihrer Entstehung umgesetzt wird, nur bedeuten kann, daß die Substanz eine sehr kurze Lebenszeit hat, nicht daß sie jeder solchen entbehrt. Solange eine gewisse chemische Umsetzung in einer Zelle vor sich geht, solange z. B Zucker dort zu Wasser und Kohlensäure verbrannt wird, solange müssen also sämtliche Zwischenstadien bei diesem Prozeß substantiell in der Zelle repräsentiert vorhanden sein. Und die Möglichkeit eines Nachweises dieser Zwischensubstanzen mittels direkter Analyse des Zellinhalts liegt somit vor.

Dieser direkte analytische Nachweis der Zwischenprodukte im vitalen Stoffwechsel ist jedoch, was die praktische Ausführung betrifft, mit

verschiedenen Schwierigkeiten behaftet. Die Analyse der Bestandteile eines Organs setzt ja im allgemeinen voraus, daß das Organ getötet wird. Und das Absterben kann leichtlich Prozesse anderer Art als die vitalen mit sich bringen und teils einen Verbrauch von Substanzen, die während des Lebens in den Zellen vorkommen, verursachen, teils zur Entstehung fremder Substanzen Anlaß geben. Die hierdurch erzeugten Schwierigkeiten sind jedoch nicht unüberwindlich. Durch hinreichend rasches Gefrieren eines Organs, z. B. durch Durchspülung der Gefäßhöhle mit Flüssigkeiten oder Gasen von hinreichend niedriger Temperatur, läßt es sich wohl denken, daß es gelingen wird, sozusagen den augenblicklichen Zustand des Stoffwechsels zu fixieren, so daß alle Zwischenprodukte in dem gefrorenen Organ sich in den Proportionen, die das normale Organ kennzeichnen, repräsentiert finden. Aber auch wenn auf diese Weise ein einwandfreies Ursprungsmaterial beschafft wird, bleiben doch teils die analytischen Schwierigkeiten bestehen, die um so größer sind, als die Analyse vermutlich Substanzen in minimaler Konzentration nachzuweisen hat, teils auch Schwierigkeiten bei der Deutung der erhaltenen Resultate. Eine möglichst vollständige Analyse der Art, wie sie vorausgesetzt worden ist, wird ganz sicher als Resultat eine unerhörte Masse Substanzen ergeben, betreffs derer es dann gilt festzustellen, welche einen Hauptweg für den Stoffwechsel bilden, und welche in dieser Hinsicht von mehr sekundärer oder von gar keiner Bedeutung sind.

Möglicherweise könnte man geneigt sein, den Schluß zu ziehen, daß Stoffe, die in größeren Mengen beim Studium der intermediären Produkte innerhalb eines gewissen Organs angetroffen werden, daher als ein wichtigeres Zwischenglied betrachtet werden müssen als die Stoffe, welche in schwächerer Konzentration angetroffen werden. Wie Hopkins in seinem bereits angeführten Vortrage betont, wäre eine derartige Schlußfolgerung unbefugt. In einer Reaktionskette, die sich in dynamischem Gleichgewicht befindet, müssen, wie Hopkins hervorhebt, die Neubildung und der Verbrauch jeder einzelnen Zwischensubstanz genau einander aufwiegen. Sonst würde eine Störung des Gleichgewichts stattfinden mit Ansammlung oder Konzentrationsverminderung bezüglich der fraglichen Substanz. Wenn aber nun zwei Substanzen gleichzeitig in äquivalenten Mengen neugebildet werden und verschwinden, so können sie doch in weit verschiedenen Konzentrationen vorkommen. Denken wir nur an die Prozesse, die zum Verbrauch der betreffenden Stoffe führen, so ist die Reaktionsgeschwindigkeit abhängig teils von den aktiven Konzentrationen der miteinander reagierenden Stoffe, teils

von der Geschwindigkeitskonstante für die betreffenden Prozesse. Und die Beibehaltung eines gleichen Takts für alle Glieder einer Reaktionskette kann es in Wirklichkeit notwendig machen, daß gewisse Stoffe, die sonst langsamer umgesetzt würden, dies durch eine etwas größere Konzentration kompensieren. Umgekehrt kann man den Schluß ziehen, daß sogar eine Substanz, die ein notwendiges Durchgangsstadium in einer Reaktionskette darstellt, in der minimalsten Konzentration vorkommen kann. Und dieser Umstand macht die Aussichten, durch die direkte analytische Methode zu einer vollständigen Auffassung aller Zwischensubstanzen zu gelangen, nicht gerade groß.

Wie die direkte analytische Methode hier skizziert worden, ist sie bisher wenig angewandt worden. Im allgemeinen ist sie an einem Material zur Anwendung gekommen, das nicht so behandelt worden ist, daß die Konzentration der Zwischensubstanzen, wie sie unter normalen Verhältnissen besteht, fixiert wurde. Ist dies also auch aus theoretischem Gesichtspunkt weniger angemessen, so ist doch andererseits dadurch erreicht worden, daß die Entdeckung solcher Zwischensubstanzen, die sich in größerer Menge beim Absterben ansammeln, erleichtert wurde. Daß die Fleischmilchsäure so frühzeitig entdeckt wurde[1], beruht natürlich darauf, daß dieser Stoff sich in dem absterbenden Organ anhäuft. Fletcher und Hopkins bekannte Untersuchungen[2] haben ja gezeigt, daß in der normalen Muskulatur Milchsäure kaum nachzuweisen ist. Die Entdeckung dieses letztgenannten Umstandes war also an eine rationellere Anwendung der Methode zum Studium des intermediären Stoffwechsels geknüpft, die hier als die direkte analytische Methode bezeichnet worden ist.

Die direkte analytische Methode zum Studium des intermediären Stoffwechsels wird in sehr erwünschter Weise durch die Methoden ergänzt, die wir hier als experimentelle charakterisieren möchten. Zwar bauen auch diese Methoden auf eine Analyse entstehender Produkte, aber im Gegensatz zu der direkten analytischen Methode liegt in den experimentellen Methoden das Hauptgewicht darauf, daß der Organismus oder dessen Organe variierenden Bedingungen ausgesetzt werden, wie sie nicht ohne weiteres oder normalerweise dem Forscher sich bieten.

Zu diesen experimentellen Methoden könnte man auch das Verfahren rechnen, das darin besteht, daß man zur Kenntnis der Wege des

[1] Durch Berzelius, 1808, siehe Meyer u. Jacobson, *Organische Chemie.* 2. Auflage. Bd. I. 2. S. 560.

[2] *Journ. of physiol.* 1906—07. Vol. XXXV. p. 247.

normalen Stoffwechsels durch das Studium des Stoffwechsels bei gewissen krankhaften Zuständen, wie Diabetes, Cystinurie, Alkaptonurie, Melanurie, zu gelangen versucht, wenn man auch dabei von der Natur selbst bewerkstelligte Experimente ausnutzt. (Betreffs der Frage nach den Resultaten, die durch diese Methode erreicht worden sind, sei auf Dakin, Oxidations and Reductions, Monographs on Biochemistry, London 1912 verwiesen.) Wenn wir hier von experimentellen Methoden zum Studium des intermediären Stoffwechsels sprechen, haben wir indessen vor allem Methoden im Auge, bei denen der Untersucher mehr direkt die Versuchsbedingungen variiert.

Eine Gruppe dieser experimentellen Methoden könnte man als Aufsuchungs- oder Ausprobiermethoden bezeichnen. Diesen Methoden zugrunde liegt zunächst, ausdrücklich oder vielleicht öfter stillschweigend, die Auffassung, daß das Vermögen des Organismus bzw. des Organs, ihm zugeführte Substanzen umzusetzen, beschränkt ist, und daß er bzw. es ein ausgeprägteres Umsetzungsvermögen nur gegenüber Substanzen besitzt, die es in Wirklichkeit normalerweise umsetzt. Bei der Anwendung einer derartigen Ausprobiermethode geht man im allgemeinen von gewissen theoretischen Spekulationen betreffs der wahrscheinlichsten Zwischenglieder einer Reaktionskette aus und führt dann dem Organismus oder dem überlebenden Organ die eine nach der anderen dieser denkbaren Zwischensubstanzen zu. Zeigt es sich dann, daß eine gewisse der möglichen Zwischensubstanzen rasch und vollkommen umgesetzt wird, so wird dies als ein guter Wahrscheinlichkeitsbeweis dafür gedeutet, daß die Substanz in Wirklichkeit ein Glied darstellt, welches der normale Stoffwechsel passiert. Das gleiche ist der Fall, wenn sie zur Entstehung von Umsetzungsprodukten derselben Art führt wie die Muttersubstanz, in deren Umsetzungskette sie der Annahme nach ein Glied bilden sollte. Stoffe dagegen, die nicht diese Bedingungen erfüllen, glaubt man aus der Reaktionskette, welche der Stoffwechsel durchläuft, ausscheiden zu können.

Natürlich führt diese Ausprobiermethode nicht zu sicheren Schlüssen. Sonst würde man beispielsweise aus dem Umstande, daß Äthylalkohol so leicht und vollständig innerhalb des Organismus verbrannt wird, mit Sicherheit den Schluß ziehen können, daß dieser Stoff ein normales Stoffwechselprodukt darstellt, denn als ein normaler Nahrungsbestandteil unter rein natürlichen Verhältnissen kann der Stoff nicht angesehen werden. Und es besteht Anlaß genug, eine Sicherstellung der mittels dieser Ausprobiermethode erhaltenen Resultate durch die mehr ent-

scheidende obenerwähnte direkte Analysenmethode zu versuchen. Beispielsweise sei erwähnt, daß, da durch meine Untersuchungen[1] der eigentümliche steigernde Einfluß, den Fumarsäure, Äpfelsäure und Zitronensäure auf den Gasaustausch der Muskulatur ausüben, festgestellt worden war, die Frage nahe lag, ob nicht diese Stoffe normale Stoffwechselprodukte darstellten, welche Frage auch von mir aufgeworfen wurde. Der entscheidende Beweis dafür, daß wenigstens die Fumarsäure als ein normales Glied des Stoffwechsels zu betrachten ist, dürfte indessen erst von Einbeck[2] geliefert worden sein, der die Fumarsäure als einen Bestandteil im frischen Fleisch nachgewiesen hat.

Fixierungs- oder Verankerungsmethoden. Eine Methode die besonders, seitdem Knoop[3] seine Versuche über den Abbau aromatischer Fettsäuren im Tierkörper veröffentlichte, große Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, erlauben wir uns mit dem in der Rubrik angegebenen Namen zu bezeichnen. Man versucht, sonst leicht passierte Stadien des Stoffwechsels dadurch zugänglich zu machen, daß man sie an schwer angreifbare Komplexe knüpft. Will man z. B. studieren, in welcher Weise Fettsäuren umgesetzt werden, so führt man sie in der Form aromatischer Fettsäuren ein und untersucht, in welcher Form sie dann durch die Nieren abgegeben werden.

Knoop hat selbst darauf hingewiesen, daß man die Resultate mit Vorsicht aufnehmen muß. „Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, daß dieser Weg, etwas über die normale Oxydation zu erfahren, nur ein indirekter ist, daß der Organismus möglicherweise für die von ihm in größtem Maßstabe verbrannten Körper ganz besonders glatt funktionierende, spezifische Einrichtungen besitzt, die den mit einer körperfremden Gruppe beschwerten homologen Verbindungen gegenüber versagen. Was man somit durch die Untersuchung körperfremder Stoffe erfahren kann, ist zunächst nur die Aufklärung darüber, ob die tierische Oxydation nach bestimmten Regeln vor sich geht. In welchem Umfange diese Regeln auch für die Zersetzung der Nährstoffe Gültigkeit

---

[1] Thunberg, T., Studien über die Beeinflussung des Gasaustausches des überlebenden Froschmuskels durch verschiedene Stoffe. *Dies Archiv.* Vierte Mitteilung. 1910. Bd. XXIV. S. 23 und Zehnte Mitteilung. 1911. Bd. XXV. S. 37.

[2] Einbeck, „Über das Vorkommen der Fumarsäure im frischen Fleische. *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* 1914. Bd. XC. S. 301.

[3] Knoop, „Der Abbau aromatischer Fettsäuren im Tierkörper. Hofmeisters *Beiträge.* 1905. Bd. VI. S. 151.

haben, muß zunächst dahingestellt bleiben, so sehr man einer solchen Annahme zuneigen mag."

Zu dieser von Knoop selbst gegebenen Kritik der Eigentümlichkeiten der „Verankerungsmethode" sei hier ein Hinweis darauf hinzugefügt, daß die aromatischen Fettsäuren als das eine Ende der offenen Kohlenstoffkette vor Angriffen schützend angesehen werden müssen. Wenn unter normalen Verhältnissen die aliphatische Kohlenstoffkette auch an ihrem von der Karboxylgruppe abgelegenen Ende angegriffen wird, so wird die Methode offenbar ein solches Verhalten verhüllen. Wenn, wie meine Untersuchungen das nicht wenig wahrscheinlich gemacht haben dürften, Dikarbonsäuren (und Polykarbonäuren, wie die Zitronensäure) eine nicht geringe Rolle in dem normalen Stoffwechsel spielen, so kann dies kaum durch die Verankerungsmethode, wenigstens in der hier behandelten Form, entdeckt werden.

Eine neue Methode zum Aufsuchen von Zwischengliedern des Stoffwechsels.

Es sind die oben erwähnten Aufsuchungs- oder Ausprobiermethoden, an welche die neue, den nachfolgenden Untersuchungen zugrunde liegende Methode zum Studium des intermediären Stoffwechsels zunächst anknüpft. Sie besteht nämlich in einem Zusatz eventueller Zwischenprodukte zu Organmasse und in einem Studium, inwiefern der fragliche Stoff mit der genannten Masse in Reaktion tritt. Das Neue an der Methode ist, daß sie als Indikator einer derartigen Reaktion eine leicht wahrnehmbare Farbenreaktion anwendet, nämlich die Entfärbung eines Farbstoffes, Methylenblau, zu seiner Leukoverbindung.

Es kann nun auf den ersten Blick hin natürlich eigentümlich erscheinen, daß man auf diese Weise zu einer allgemeiner verwendbaren Methode zum Aufsuchen der Bahnen des intermediären Stoffwechsels sollte gelangen können. Eine nähere Prüfung der theoretischen Voraussetzungen der Methode führt indessen zu der Auffassung, daß wir hier eine Methode haben, die für die Entdeckung wenigstens der Zwischenprodukte, die innerhalb des Organs unter „Dehydrogenisierung", also unter Abgabe von Wasserstoff, umgesetzt werden, anwendbar ist, und es ist nun ziemlich wahrscheinlich, daß derartige Dehydrogenisierungsprozesse ein sehr allgemeines Vorkommen besitzen.

Ihre theoretische Grundlage hat diese Methode in der Oxydationstheorie, die von Wieland[1] herrührt. Während man bisher ziemlich allgemein von der freilich nicht bewiesenen Auffassung ausging, daß die vitalen Oxydationen unter katalytischer Mitwirkung von sauerstoffaktivierenden Fermenten, in Übereinstimmung mit der Engler-Bachschen Peroxydtheorie, verlaufen, konnte Wieland für eine Anzahl Fälle nachweisen, daß die Fermentwirkung vielmehr in einer Aktivierung von Wasserstoff besteht, der dann an geeignete Wasserstoffakzeptoren abgegeben wird. Der biologisch wichtigste Wasserstoffakzeptor ist natürlich der Sauerstoff. Der Sauerstoff ist es, der durch die exothermische Reaktion der Wasserbildung sich des Wasserstoffes annimmt, der durch die dehydrogenisierenden Fermente ihm geboten wird. Der Sauerstoff kann indessen auch durch andere Wasserstoffakzeptoren ersetzt werden, z. B. durch Farbstoffe, die leicht Wasserstoff, unter Entfärbung, addieren. Derartige Wasserstoffakzeptoren bieten den Vorteil, daß die chemische Reaktion durch eine in die Augen fallende Farbenveränderung markiert wird.

Ihren nächsten Ausgangspunkt nimmt die hier fragliche Methode zur Aufsuchung intermediärer Stoffwechselprodukte von einigen Untersuchungen, die ich über die Dehydrogenisierung der Bernsteinsäure ausgeführt habe.[2]

Anknüpfend an ältere Arbeiten teils von mir selbst, teils von Batelli und Stern und Einbeck, lege ich hier dar, daß es ein auf die Bernsteinsäure speziell eingestelltes, dieselbe dehydrogenisierendes Enzym, meiner Nomenklatur nach eine „Succinico-dehydrogenase", gibt, das bei Abwesenheit von Sauerstoff den Wasserstoff auf eventuell anwesendes Methylenblau überführt, es in seine Leukoverbindung verwandelnd. Das fragliche Enzym ist sehr resistent, was das Studium desselben beträchtlich erleichtert.

Einerseits bedeutete die Entdeckung eines auf die Bernsteinsäure speziell eingestellten Ferments einen guten Wahrscheinlichkeitsbeweis

[1] Wieland, H., Über Hydrierung und Dehydrierung. *Ber. d. deutsch. chem. Ges.* 1912. Bd. XLV. S. 484. Studien über den Mechanismus der Oxydationsvorgänge. *Ebenda.* 1912. Bd. XLV. S. 2606; 1913. Bd. XLVI. S. 3327; 1914. Bd. XLVII. S. 2085.

[2] Thunberg, Über die vitale Dehydrierung der Bernsteinsäure bei Abwesenheit von Sauerstoff. *Zentralbl. f. Physiol.* 1916. Bd. XXXI. S. 91. — Zur Kenntnis der vitalen Bernsteinsäureoxydation. *Dies Archiv.* 1916. Bd. XXXIII. S. 223. — En biologisk färgreaktion a bernstensyra. *Svenska Läkaresällskapets handlingar.* 1917. p. 996.

dafür, daß die Bernsteinsäure ein intermediäres Stoffwechselprodukt ist, das natürlich eben von diesem Ferment weiter bearbeitet wird. Und eben der Umstand, daß diese Bearbeitung eine Dehydrogenisierung ist, ist in dieser Hinsicht beweisender, als wenn die Bearbeitung eine direkte Oxydierung wäre. Es liegt nämlich nahe, sich zu denken, daß ein Ferment, das Sauerstoff aktiviert, durch den aktivierten Sauerstoff eine allgemeinere Wirkung wird ausüben können, und ebenso ist es nicht unmöglich, sich eine Umsetzung der Bernsteinsäure durch aktiven Sauerstoff als einen reinen Zufall zu denken. Dagegen ist es äußerst unwahrscheinlich, daß man innerhalb der Zellen ein Enzym besäße, das gegenüber Bernsteinsäure das allerkräftigste Dehydrogenisierungsvermögen zeigt, während sonst keine Wirkung desselben entdeckt werden kann, wenn man nicht daraus den Schluß ziehen darf, daß Bernsteinsäure unter normalen Verhältnissen von dem fraglichen Ferment bearbeitet wird, und daß Bernsteinsäure also ein normales Stoffwechselprodukt darstellt.

In meinen früheren Untersuchungen hatte ich gefunden, daß neben der Bernsteinsäure auch Äpfelsäure, Fumarsäure und Zitronensäure ein bedeutendes Vermögen besaßen, den Gasaustausch der überlebenden Froschmuskulatur zu steigern, und auch die Frage aufgeworfen, ob diese Stoffe als normale Stoffwechselprodukte aufzufassen wären. Ich habe im Anschluß hieran nun untersuchen wollen, ob auch diese Substanzen auf sie eingestellte Enzyme besäßen, denen das Vermögen eignet, Wasserstoff von ihnen auf Methylenblau überzuführen. Die Sache war nicht so einfach zu entscheiden, als da es sich um den Eintritt der Bernsteinsäure als wasserstoffabgebender Stoff handelte. Das auf die Bernsteinsäure eingestellte Ferment war nämlich äußerst resistent. Nachdem jede andere nachweisbare vitale Wirkung bei der Muskelmasse aufgehört hatte, konnte noch die Enzymwirkung gegenüber Bernsteinsäure nachgewiesen werden. Nun erwies es sich dagegen als notwendig, mit Organen zu arbeiten, die von soeben getöteten Tieren herstammten. Derartige Organe aber zeigten ein bedeutendes spontanes Entfärbungsvermögen gegenüber Methylenblau, ein Umstand, der den Nachweis eventueller, auf bestimmte Stoffe eingestellter Fermente hinderte. Nachdem jedoch die hieraus entspringenden Schwierigkeiten glücklich überwunden worden, zeigte es sich, daß dieselben Stoffe, nämlich Äpfelsäure, Fumarsäure und Zitronensäure, die sich als den Gasaustausch der Muskulatur kräftig steigernd erwiesen hatten, auch ein ausgesprochenes Vermögen besaßen, bei Anwesenheit von Sauerstoff Methylenblau zu entfärben, wenn nämlich Muskulatur oder, genauer gesagt, Muskelmasse anwesend war. Eine

ganze Reihe Substanzen, die bei meinen früheren Untersuchungen über die Einwirkung organischer Säuren auf den Gasaustausch der Muskulatur sich als unfähig erwiesen hatten, den Gasaustausch zu steigern, erwiesen sich auch bei einer ganzen Reihe Vorversuchen als unfähig, zusammen mit Muskelmasse eine Entfärbung des Methylenblaus zu bewirken.

Meine älteren Untersuchungen über den Gasaustausch der Froschmuskulatur unter Einwirkung einer großen Anzahl organischer Säuren (in neutralisierter Form) waren nun unter anderem in der Absicht ausgeführt worden, intermediäre Stoffwechselprodukte zu finden. Die angewandte Methode, die sich auf das von mir angegebene Mikrorespirometer gründet, war indessen ziemlich kostspielig und nicht gerade leicht zu handhaben, wenigstens für den, der nicht größere Erfahrung in Gasanalyse besitzt. Nun wurden mit einer bedeutend einfacheren Methode sozusagen im Handumdrehen eine Anzahl Substanzen als mit der Muskelmasse in Reaktion tretend nachgewiesen, während die Entdeckung dieser Substanzen bei Anwendung des Mikrorespirationsapparats beträchtliche Arbeit erfordert hatte.

Bei weiteren Vorversuchen mit der „Methylenblaumethode" wurde auch beobachtet, daß sie den großen Vorteil besaß, sehr wenig Muskulatur zu erfordern, vielleicht nur $^1/_{25}$ der bei der Mikrorespirometermethode erforderlichen. Es zeigte sich ferner, daß die Methylenblaumethode nur eine sehr geringe Menge von der Substanz erforderte, deren Vermögen, mit der Muskelmasse in Reaktion zu treten, untersucht werden sollte. Und schließlich erwies es sich auch, daß die Methode bedeutend subtiler als jede Gasaustauschmethode war. Auch Stoffe, die einigermaßen schwer mit den Geweben in Reaktion traten, konnten mittels derselben entdeckt werden.

All dies, gleichwie einige Probleme, die sich bald als an diese neue Methode geknüpft erwiesen, bewirkten, daß die Methode als einer eingehenden Prüfung und einer Ausarbeitung zu größtmöglicher Sicherheit und Empfindlichkeit wert erachtet wurde.

Aus einigen Vorversuchen ging hervor, daß man sich bei der Ausgestaltung der Methode verschiedener Organe hätte bedienen und auch zwischen verschiedenen Tierarten hätte wählen können. Unter den verschiedenen in Frage kommenden Organen hätte ja vielleicht besonders die Leber wegen ihrer zentralen Rolle beim Stoffwechsel in erster Linie Berücksichtigung verdient. Und es ist möglich, daß die Ausführung der Untersuchung mit Säugetierorganen ihr größere Anwendbarkeit auf den Stoffwechsel des Menschen verliehen hätte. Doch wurde für diese Ver-

suche der Frosch als Versuchstier gewählt und unter den Organen des Frosches die Muskulatur, teils wegen der relativen Billigkeit und Leichterhältlichkeit des Materials, teils deswegen, weil die Versuche auf diese Weise sich an meine mikrorespirometrischen Untersuchungen, die ja ihren Ausgangspunkt bildeten, anknüpften. Die erhaltenen Resultate dürften indessen wohl Anlaß dazu geben können, daß die Versuche sowohl auf eine größere Anzahl verschiedener Tierspezies als auch auf verschiedene Organe ausgedehnt werden.

* * *

Die Froschmuskulatur wurde folgender Behandlung unterzogen:

1. Feinverteilung,

2. Extraktion behufs Beseitigung der Spontanreduktion von Methylenblau.

Nach der Extraktion wurde die Muskulatur in den von mir früher beschriebenen Vakuumröhren[1] gewogen und dort mit einer Lösung von Methylenblau sowie einer Lösung der Substanz versetzt, die auf ihre Eigenschaft, als Aktivator des verlorenen Entfärbungsvermögens, also als „Donatorsubstanz"[2] rücksichtlich des auf das Methylenblau überzuführenden Wasserstoffs, zu dienen, geprüft werden sollte. Danach wurden die Vakuumröhren mittels einer hinreichend kräftigen Luftpumpe (10 bis 15 mm Hg) evakuiert. Die evakuierten Röhren wurden sodann auf einer Temperatur von 35° C gehalten. In geeigneten Intervallen wurde die Farbenstärke notiert. + bedeutet beginnende Entfärbung, ++ sehr kräftige, aber nicht vollständige Entfärbung, +++ vollständige Entfärbung.

Nach Angabe dieser Hauptzüge der Methode liefere ich hier einen eingehenderen Bericht darüber, wie die verschiedenen Prozeduren ausgeführt wurden. Ich beginne dabei mit der Feinverteilung der Muskulatur.

Die Feinverteilung der Muskulatur.

Nachdem einige Versuche gemacht worden waren, Mühlenvorrichtungen für die Feinverteilung der untersuchten Organe zu benutzen, erwies es sich, wenigstens wenn es sich um Muskulatur handelte, am bequemsten, dieselbe mittels einer scharfen, schwach gebogenen chirur-

[1] *Dies Archiv.* 1917. Bd. XXXV. S. 165.

[2] Siehe Thunberg, *ebenda.* S. 185.

gischen Schere zu zerschneiden. Galt es z. B., 5 g Froschmuskulatur zu zerschneiden, so wurde der gewünschte Feinheitsgrad durch rasche Schnitte während 5 Minuten erreicht. Das Schneiden wurde auf einem Uhrglas ausgeführt, und die schwache Biegung der Schere erlaubte es, die Schnitte parallel dem Uhrglas vorzunehmen. Die Muskulatur wurde durch dieses energische Zerschneiden in eine zähe, zusammenklebende Masse verwandelt. Alle größeren Stücke wurden während des Schneidens herausgesucht, so daß die Masse möglichst gleichförmig feinverteilt wurde. Daß dies hier betont wird, beruht auf der Beobachtung, daß, wenn es sich später darum handelte, durch Extraktion, die das Vermögen der Muskulatur, ohne Zusatz Methylenblau zu entfärben, bedingenden Substanzen wegzuschaffen, dies beträchtlich erschwert war, wenn nicht so feinverteilte Muskulatur vorlag. Und bei einer sonst negativ ausfallenden Probe an einer Substanz, die auf ihr Vermögen, als Aktivator zu dienen, geprüft wurde, konnte ein etwas größeres Muskelstück, das noch etwas von den eigenen Aktivatoren enthielt, zu störenden Fehlern Anlaß geben. Glücklicherweise wurde dies im allgemeinen an der Hand der Ungleichmäßigkeit der Entfärbung entdeckt, indem die Entfärbungszone sich nur um ein derartiges größeres Stück herum bildete. Wurde aber die Flüssigkeit etwas umgeschüttelt, so konnte dieses Zeichen fehlschlagen.

Die auf diese Weise feinverteilte Muskulatur wurde dann einer Extraktion durch Schütteln unterzogen.

Die Inaktivierung.

Nach vorbereitenden Versuchen, bei denen Dikaliummonohydrophosphat zum Auslaugen der eigenen Donatorsubstanzen der Muskulatur verwendet wurde, Versuchen, die indessen zeigten, daß derartige Phosphatlösungen nicht hinreichend kräftig als Extraktionsmittel waren, wurde zur Anwendung von destilliertem Wasser übergegangen. Da alle Erfahrung zeigt, daß altes destilliertes Wasser gern sehr reich an Bakterien wird, wurde im Institut frischbereitetes, nicht mehr als 24 Stunden (eventuell an den Montagen 48 Stunden) altes, in Jenaglasflasche aufbewahrtes, destilliertes Wasser verwendet. Die Destillation geschah in einem von Laboratoriumsgasen freien Zimmer. Die Extraktion der eigenen Wasserstoffdonatoren der Muskulatur geschah in zylindrischen Schüttelröhren, die bequem in einer energischen Schüttelmaschine befestigt werden konnten. Die Schüttelröhre wurde durch die Schüttelmaschine in der Längsrichtung der Röhre hin und zurück geführt. Die

in der Schüttelröhre vorhandene Luftquantität bürgte dafür, daß das Schütteln sehr energisch erfolgte. Da die Röhren ungefähr 300 ccm faßten und die Menge der Flüssigkeit im allgemeinen zwischen 100 und 150 ccm betrug, so machte die Luftphase gut die Hälfte des Inhalts aus. Die Bewegungsbahn der Röhre hin und zurück war 10 cm lang. Auf 1 Minute kamen ungefähr 100 vollständige Hin- und Rückbewegungen. (Ich habe es nicht für unnötig erachtet, die Art der angewandten Schüttelung etwas näher zu definieren. Es wäre nicht schwer, Fälle anzugeben, wo scheinbar unerklärliche Unterschiede im Resultat auf Verschiedenheiten der Intensität und Effektivität eben einer Schüttelprozedur beruhen. Bevor ein wirkliches, allgemein angenommenes Maß in dieser Hinsicht zur Verfügung steht, kann ja eine Beschreibung der hier angewandten Art bis auf weiteres zum Anhalt dienen.)

Bei der Extraktion wurde nun die 20fache Menge Wasser zu der Muskulatur hinzugesetzt, worauf auf die oben beschriebene Weise bei Zimmertemperatur 15 Minuten lang geschüttelt wurde. Danach wurde der Inhalt auf ein Filter aus Buttertuch gebracht. Die auf dem Buttertuch zurückgebliebene Muskulatur wurde nun ausgepreßt, worauf sie in eine reine Schüttelröhre gebracht und aufs neue 15 Minuten lang mit der 20fachen Menge destillierten Wassers geschüttelt wurde. Die Muskulatur wurde wiederum auf Buttertuch abfiltriert und auf diese Weise eine geringere oder größere Anzahl Male fortgefahren. Im allgemeinen und besonders anfangs wurde nur 2mal wasserextrahierter Muskel angewandt. Auf diese Weise könnte höchstens eine Verdünnung der eigenen Donatorsubstanzen der Muskulatur im Verhältnis $^1/_{20} \times {}^1/_{20}$, also im Verhältnis $^1/_{400}$ erreicht werden. Durch Hinzufügung einer weiteren Schüttelung würde die maximal erreichbare Verdünnung $^1/_{400} \times {}^1/_{20}$, also 1 : 8000 werden. Natürlich sind dies Verdünnungswerte, die in Wirklichkeit nicht erreicht werden, die Berechnung weist jedoch auf die Bedeutung einer dritten Verdünnung für die Herabsetzung der Konzentration der Donatorsubstanz, die für die spontane Entfärbung verantwortlich ist, hin. — Es dürfte nicht unangebracht sein, zu betonen, daß für die zweite und dritte Schüttelung neue Schüttelröhren anzuwenden sind, also Schüttelröhren, die keine Reste von der Muskulatur und dem Inhalt, die bei der ersten Schüttelung dort vorhanden waren, beherbergen. Auch möchte vielleicht die Vorschrift, daß die Muskulatur nach den verschiedenen Schüttelperioden nicht dasselbe Buttertuch genommen werden dürfen, auf den ersten Blick hin pedantisch erscheinen. Die

Erfahrung zeigte indessen die Erwünschtheit dieser Maßnahmen. In den Schüttelröhren, die nach den Enden zu sich verschmälerten, sammelte sich gern eben in dem schmalen Teil etwas Muskulatur an, die auf diese Weise der Extraktion sich entzog. Auch auf dem Buttertuch oder, genauer gesagt, in dessen Maschen konnte Muskelsubstanz stecken bleiben, die die folgenden Schüttelungen nicht durchmachte und vielleicht zur Anwendung bei den endgiltigen Versuchen herausgekratzt wurde. Diese wurden dann mit in Extraktionshinsicht heterogener Muskulatur ausgeführt, was die Ergebnisse der Versuche trüben könnte.

Die Anwendung möglichst reiner Röhren und reinsten destillierten Wassers hatte auch den Zweck, die Infizierung der Muskelmasse mit beträchtlichen Mengen Bakterien möglichst zu vermeiden.

Die Ausführung des Entfärbungsversuchs.

Für den Versuch, durch den ich festzustellen versuchte, ob eine gewisse Substanz die Fähigkeit zu einer Aktivierung des Vermögens der Muskulatur, Methylenblau zu entfärben, besaß, ob also die Substanz als Wasserstoffdonator fungieren konnte, bediente ich mich, wie oben erwähnt, der von mir zuerst angegebenen Vakuumröhren.[1] In diese wurden also eingebracht teils abgewogene Mengen Muskulatur, teils abgemessene Mengen einer Methylenblaulösung und der Lösung, die auf ihr eventuelles Vermögen, Wasserstoff abzugeben, geprüft werden sollte.

Nach einigen tastenden Versuchen mit wechselnden Mengen Froschmuskulatur blieb ich bei 0·2 g Muskulatur für jede Röhre stehen. Die Methylenblaulösung und die Aktivatorlösung wurden in solchen Mengen angewandt, daß die Flüssigkeitsmenge in jeder Röhre nicht 1 ccm überstieg. Unterstieg die Menge nach dem Zusatz dieser Lösungen 1 ccm, so wurde eine supplierende Menge destilliertes Wasser hinzugesetzt.

Das verwendete Methylenblaupräparat ist Mercks medizinale gewesen, also das chlorzinkfreie Chlorid. Davon wurde eine kleinere Menge von der Stärke 1:5000 oder, wie ich es auszudrücken mich gewöhnt habe, der Stärke 20 Milliprozent[2] in Bereitschaft gehalten. Hiervon

---

[1] *Dies Archiv.* Bd. XXXV. S. 165.

[2] Eigentümlich ist, daß das Bezeichnen von Konzentrationen immer noch auf eine wenig rationelle Weise geschieht. Bislang existiert hierfür weder eine bestimmte Einheit noch ein daran sich knüpfendes Teilsystem. Sogar der deutsche „Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen“, der auf diesem Gebiet so Bedeutendes geleistet hat, hat die Frage der Bezeichnung von Konzentrationen vergessen. Bei meinen privaten Berechnungen habe ich mich

wurde zu jeder Vakuumröhre eine, je nach der Art der Versuche, wechselnde Menge, im allgemeinen jedoch 0·1 ccm, hinzugesetzt. Die Methylenblaukonzentration ist in solchem Falle, da ja die Gesamtmenge Flüssigkeit 1 ccm ist, 2 Milliproz. gewesen. In jeder Röhre fanden sich also 20 Gamma (γ) Methylenblau, wenn man unter Gamma (γ), wie das in letzter Zeit mehr und mehr gebräuchlich geworden, $^1/_{1000}$ Milligramm versteht. Nimmt man als Molekulargewicht für das Methylenblau ($+ 3H_2O$) 374,4 an, so kann die angewandte Konzentration der Methylenblaukonzentration als ungefähr 0·05 Millimolar (50 Mikromolar) angesehen werden.

Die Substanz, die auf ihr Vermögen, als Aktivator zu dienen, untersucht werden sollte, wurde in einer so starken Lösung angewandt, daß sie als in absolutem Überschuß vorhanden angesehen werden konnte. Im allgemeinen wurde davon zuerst eine mol/10-Lösung bereitet. Von dieser wurden dann Bruchteile von 1 ccm genommen und zu den Vakuumröhren hinzugesetzt. Im allgemeinen wurden Versuche mit zwei oder mehr Konzentrationen angestellt. So wurden oft von der ursprünglichen molar/10-Lösung 0·2 bzw. 0·4 ccm verwendet. In diesen Fällen war die Stärke der Lösung nach der Verdünnung der Probe auf 1 ccm

---

daran gewöhnt, als Einheit für Konzentrationen in Übereinstimmung mit dem gewöhnlichen Gebrauch Prozent anzuwenden, wenngleich gerade in diesem Punkte gewisse theoretische Einwendungen gemacht werden könnten, als Unterabteilungen dazu habe ich aber nicht, wie gewöhnlich, Promille, sondern teils ein tausendstel Prozent, mit der Bezeichnung Milliprozent (mP), teils ein millionstel Prozent (Mikrop, μ P) eingeführt. Durch die Einführung dieser an das Metersystem anknüpfenden Bezeichnungen (welche selbstverständlich mit den Bezeichnungen Deziprozent und Centiprozent vervollständigt werden können) teilt man die Verdünnungsskala in drei Meßgebiete ein, innerhalb welcher man bequem mit ganzen Zahlen die in der Biologie gewöhnlichen Konzentrationen ausdrücken kann. Handelt es sich beispielsweise darum, die Konzentrationen der im Blute vorkommenden Stoffe (mit Ausnahme der Eiweißstoffe) auszudrücken, so ist mP das natürliche Maß. Das Verhältnis zwischen den Mengen Na, K, Ca usw. kommt hierdurch auf eine ganz andere und anschaulichere Weise zum Ausdruck, als wenn man mit Dezimalbrüchen mit mehreren Nullen arbeitet. Nur wenn es sich um so große Verdünnungen handelt, wie z. B. bezüglich der Wasserstoffionenkonzentration des Blutes, ist noch eine weitere Unterabteilung im Maßsystem nötig. Man kann sie MillimikroP (mμP) nennen. Die normale Wasserstoffionenkonzentration des Blutes ist nach diesem System 2·5 MillimikroP (mμP). Möglicherweise könnte hier eine neue Unterabteilung geschaffen werden. Ich erlaube mir die Bezeichnung Minimiprozent vorzuschlagen.

molar/50 bzw. molar/25, also, in Millimolar ausgedrückt, 20 bzw. 40 Millimolar. Die molare Konzentration der Aktivatorsubstanz war also 400 bis 800mal so groß als die des Methylenblaus. Dies bedeutet jedoch nicht, daß die Aktivatorkonzentration, absolut genommen, besonders hoch war. Wenn z. B. das Molekulargewicht der Aktivatorsubstanz 100 war, so war die absolute Konzentration in den Vakuumröhren, wenn 0·2 bzw. 0·4 ccm auf 1 ccm verdünnt werden, 0·2 bzw. 0·4 Proz. (200 bzw. 400 mP).

Wie aus dem Folgenden hervorgeht, wurden zu einer großen Anzahl Versuche organische Säuren als Aktivatoren verwendet. Einige von diesen standen nur in kleinen Mengen zur Verfügung. Die Ursprungslösung wurde daher in einer Menge von nur 1 ccm bereitet, wobei in der Weise verfahren wurde, daß von der Säure so viele Milligramm abgewogen wurden, als durch Division des Molekulargewichts durch 10 erhalten wurde. Die abgewogene Substanz wurde dann in eine kleine, ungefähr 4 ccm haltende kurze Probierröhre eingebracht, worauf zuerst mit N/2 und schließlich mit N/10 Kalilauge neutralisiert wurde. Dadurch, daß die Lauge durch sehr spitze Ausflußröhren zugeführt wurde, welche Ausflußröhren die Wände der Probierröhren berührten, versuchte man einen Überschuß der neutralisierenden Lauge zu vermeiden. Als Indikator wurde die mindestmögliche Menge Phenolphthaleinlösung verwendet. Guten Nutzen hat man bei derartigen „Titrierungen“ von der Reichardtschen Mikropipette.[1] Die Schraubvorrichtung, die den wesentlichen Teil dieser Pipette bildet, wurde für diese Untersuchungen in verschiedenen Größen angefertigt, so daß sie an Meßpipetten verschiedener Größe angebracht werden konnte. Aus der Vorratsflüssigkeit saugt man dann für jeden Versuch Flüssigkeit in die Pipette unter Anwendung der Saug- und Druckschraube. Danach wird die Spitze der Pipette auf der Außenseite abgetrocknet und durch Hinabschrauben sodann die Flüssigkeit in die zu „titrierende“ Flüssigkeit hinabgepreßt oder überhaupt mit der aufgesogenen Flüssigkeit versetzt. Der große Vorteil bei dieser Anordnung ist der, daß man Glashähnen mit ihrer Hahnschmiere oder Gummischläuchen mit ihren Verengungsvorrichtungen entgeht. Ferner fließt nie ein Tropfen zuviel in der Eile heraus, was ja so leicht geschieht, wenn ein Glashahn träge geht. Eine derartige, an einem geeigneten Stativ montierte Schraubbürette entbehrt man überhaupt nicht mehr gern, wenn man sich einmal an sie gewöhnt hat. — Hinzuzufügen wäre viel-

---

[1] Siehe Abderhaldens *Handbuch d. biochem. Arbeitsmethode.* Bd. I. S. 24.

leicht, daß ich es am zweckmäßigsten gefunden habe, die Saug- und Druckschraude an der Glaspipette nicht mit Kautschuk, sondern mittels der gewöhnlichen Wachs- und Harzmischung zu befestigen, deren Vorteile für Befestigungszwecke in physiologischen Laboratorien wohlbekannt sein dürften. — Die Pipetten werden dadurch gereinigt, daß die Schraube aus ihrer Hülse herausgeschraubt wird, worauf die Hülse durch einen Gummischlauch mit einer Wasserstrahlpumpe verbindet, die zuerst Wasser und dann Luft durch die Pipette saugt. Nach dem Trocknen der Hülse und dem Einsetzen der Schraube ist die Pipette wieder gebrauchsfertig. — Will man die Pipette von der Saug- und Druckschraube abnehmen, erwärmt man die befestigende Wachs- und Harzmischung.

Bei diesen „Mikrotitrierungen" hat man ferner guten Nutzen von einer Anzahl Platindrähten mit Ösen, teils zum Hinzusetzen gleicher Mengen Indikatorlösung, teils zum Hinzusetzen kleiner Mengen der Säure, die neutralisiert werden soll. Zur bequemen Durchführung der Neutralisierung wurde nämlich im allgemeinen eine minimale Menge von der Säure abgenommen, der andere Teil, also der Hauptteil, wurde bis zu deutlicher Rotfärbung neutralisiert, worauf der abgenommene Teil hinzugesetzt wurde, und hierauf versuchte man dann möglichst scharfe Neutralisierung zu erlangen. Erst allmählich im Laufe der Versuche wurde die Bedeutung der hier erwähnten Kunstgriffe klar.

Die Luft wurde aus den Vakuumröhren mittels einer kräftigen, rotierenden Ölluftpumpe herausgeschafft. Die Luftverdünnung wurde so weit getrieben, daß die Flüssigkeit kochte. Nachdem der Hahn zugedreht und der Gummischlauch von der Zuleitungsröhre der Vakuumröhre abgenommen worden, wurde Wasser in die genannte Zuleitungsröhre (Seitenröhre) gefüllt, um zu verhindern, daß Luft auf diesem Wege eingesogen wurde. Das Wasser wirkte nämlich als eine Art Schloß. Eine ganze Reihe Unregelmäßigkeiten zu Beginn dieser Versuche erwiesen sich indessen als darauf beruhend, daß beim Füllen der Seitenröhre mit Wasser gern eine oder mehrere Luftblasen unten in der Seitenröhre, eben da, wo sie in die Vakuumröhre mündete, verblieben. Besonders war dies der Fall, wenn der Anschluß an die Vakuumröhre gleichsam eine Unterminierung darbot. Diese Luftblasen wurden dann infolge des in der Röhre herrschenden Vakuums hineingesogen und wirkten der Entfärbung des Methylenblaus entgegen. Nachdem endlich diese lästige Fehlerquelle entdeckt worden, wurden die Röhren sehr genau nach jeder Evakuierung und nach dem Füllen der Seitenröhre mit Wasser revidiert. Fand sich drinnen an dem Einschliff die kleinste Luftblase,

so wurde in die Seitenröhre ein feiner Zweig eingeführt, der durch eine quergebogene Spitze, besonders wenn der Zweig rasch zwischen den Fingern rotiert wurde, jede Luftblase ablöste und hinaustrieb. Während dieser Prozedur wurde die Seitenröhre mit der Mündung nach oben gehalten. Schließlich wurde jedoch zu der Methode übergegangen, daß nach dem Ausführen der Evakuierung und dem Schließen des Hahns der noch evakuierte Schlauch nebst der Vakuumröhre unter eine Wasseroberfläche gebracht wurde, unter welcher der Schlauch von der Seitenröhre abgezogen wurde. Die Seitenröhre sog sich dann sofort mit Wasser voll, ohne eine Luftblase zurückzulassen, wenn die Evakuierung befriedigend war.

Das starke Vakuum in den Vakuumröhren machte die Anwendung besonders guter Hahnschmiere notwendig. Nachdem eine vortreffliche Kautschukschmiere von unbekannter Zusammensetzung zu Ende gegangen, trafen eine Reihe Unregelmäßigkeiten infolge der Schwierigkeit ein, ein gut schließendes Hahnschmiermittel zu erhalten. Schließlich wurde das Ziel durch eine Mischung von Wachs und Vaselin erreicht, das in der Kälte ziemlich hart war, aber in geschmolzener Form an den zuvor erwärmten Hähnen angebracht wurde. Die Hähne standen in einem Trockenschrank bei 70 bis 80°, bis sie eingesetzt werden sollten, und wurden dann mit einem oder ein paar Tröpfchen der geschmolzenen Wachsvaselinmischung überstrichen. Diese Anordnung erwies sich als ganz vortrefflich.

Die evakuierten Röhren wurden sobald wie möglich unter die Wasseroberfläche in einen Wasserthermostat gebracht. Auf diese Weise wurde weitere Sicherheit dafür erlangt, daß nicht Luft eingesogen werden und durch ihren Sauerstoffgehalt die Umwandlung des Methylenblaus in die Leukoverbindung stören konnte. In dem Wasserthermostat wurden die Vakuumröhren dadurch aufrecht stehend gehalten, daß sie in genügend große Öffnungen einer Zinkscheibe gestellt wurden; ein aufgelegtes Bleigewicht verhinderte ihr Aufsteigen infolge des geringeren spezifischen Gewichts. Später wurde indessen eine bequeme Vorrichtung mit federnden Klemmen verwendet, die ohne weiteres die unter der Wasseroberfläche plazierten Röhren festhielt. Die Klemmen waren an einem gemeinsamen Rahmen befestigt, so daß sämtliche eingesetzten Röhren mittels eines Griffs behufs Beobachtung des Entfärbungsgrades aufgenommen werden konnten. — In späteren Versuchen sind Glaswannen verwendet worden, so daß die Abfärbung ohne Herausnehmen der Röhre aus dem Wasser beobachtet werden konnte.

Gesättigte und ungesättigte einbasische Karbonsäuren.

Obwohl die hierher gehörigen Substanzen nicht die ersten waren, die bei meinen Untersuchungen rücksichtlich eines eventuellen Vermögens, als Aktivatoren für ein eventuelles Entfärbungsvermögen zu dienen, geprüft wurden, bietet es doch von systematischem Gesichtspunkt aus gewisse Vorteile, bei dem Bericht über die erhaltenen Resultate mit ihnen zu beginnen. Es sei jedoch bereits hier mitgeteilt, daß, bevor die Fettsäurereihe gründlicher untersucht wurde, die vorhergehenden Untersuchungen zur Entdeckung einer Anzahl sehr kräftig wirkender Aktivatoren geführt hatten, die als solche auch unter durchaus nicht optimalen Verhältnissen hervortraten. Hierher gehörten außer der Bernsteinsäure, über die bereits früher eine Mitteilung geliefert war, Zitronensäure, Äpfelsäure, Fumarsäure, Linksweinsäure, Mesoweinsäure, Oxyglutarsäure, Oxybuttersäure, sowohl die α- als die β-Form. Und durch Hardens Untersuchungen war es ja schon vorher bekannt, daß die Milchsäure zu den Aktivatoren der Kaninchenmuskulatur gehört.

Als ich nun mit der Ameisensäurereihe begann, geschah es mit einer Untersuchungsmethode, die nicht die günstigste war. Und die Resultate, die ich da erhielt, wiesen am ehesten in negative Richtung und schienen in Einklang mit den Resultaten meiner Untersuchungen über den Einfluß dieser Reihe auf die Atmung der überlebenden Froschmuskulatur[1] zu stehen, durch welche nicht hatte nachgewiesen werden können, daß diese Substanzen den Gasaustausch der Muskulatur steigern können. Während des fortgesetzten Studiums des eventuellen Aktivierungsvermögens dieser Substanzen wurden jedoch gewisse Resultate erhalten, die in andere Richtung wiesen, und dies gab zu einer Prüfung der angewandten Methode Anlaß, um die optimalen Bedingungen für den Nachweis des Vermögens eines Stoffes, auf das Entfärbungsvermögen der Organmasse aktivierend zu wirken, festzustellen. Während der variierenden Versuche, die zu diesem Zwecke ausgeführt wurden, wurden auch einige gefährliche Fehlerquellen entdeckt, deren Vernachlässigung diese Methode beträchtlich diskreditieren könnte.

Bei der Variation der Versuchsbedingungen, welche die Einstellung der Methode auf größte Empfindlichkeit erforderlich machte, wurde es bald klar, daß die angewandte Menge Methylenblau eine große Rolle spielte. Im allgemeinen kann man sagen, daß, je geringer die zur Probe

---

[1] Thunberg, *Dies Archiv.* 1910. Bd. XXIV. S. 23.

angewandte Menge Methylenblau war, um so leichter die Beobachtung der Entfärbung sich gestaltete. Das fragliche Verhalten kann als eine Folgeerscheinung des Weberschen Gesetzes betrachtet werden. Wenn das untersuchte Medium binnen einer gewissen Zeit, sagen wir 5 γ Methylenblau entfärbte, mußte dies um so leichter entdeckt werden können, wenn ursprünglich nur 10 γ von dem Farbstoff anwesend war, als wenn 100 γ in der Probe vorhanden gewesen wären. In dem einen Falle bedeutet die Entfärbung eine Änderung der ursprünglichen Farbenstärke um 50 Proz., im letzteren Falle eine solche um nur 5 Proz. Berücksichtigt man, daß das Unterscheidungsvermögen des Auges für eine und dieselbe absolute Differenz um so größer ist, je schwächer die absoluten Intensitäten sind, so weist dies also darauf hin, daß die Methode empfindlicher wird, wenn man eine so schwache Ursprungsfarbe anwendet, wie sie nur mit dem deutlichen Hervortreten der Farbe vereinbar ist.

Damit indessen die Entfärbung bequem verfolgt werden kann, ist es doch nicht zweckmäßig, zu allzu schwacher Farbenstärke heruntergehen. Unter einen Zusatz von 10 γ zu einer Probe von 1 ccm lohnt es sich kaum zu gehen. Die Ursprungsprobe ist bei dieser Farbenstärke (1:100000, also 1 mP) andauernd ausgesprochen blau.

Die Einstellung der Methode auf größere Empfindlichkeit mittels Anwendung relativ kleiner Mengen Methylenblau brachte indessen auch einige Schwierigkeiten und Gefahren mit sich. Diese hingen vor allem mit den Eigentümlichkeiten zusammen, die die Spontanreduktion des Methylenblaus durch die Muskelmasse aufweist.

Zur Beleuchtung dieser Verhältnisse seien zunächst einige Zahlen betreffs der Spontanentfärbung bei Muskulatur, die keiner Extraktion unterzogen worden, mitgeteilt.

Tabelle 1.

Feingeschnittene Froschmuskulatur, frisch bereitet, nicht extrahiert, 0·2 g in jeder Röhre.

Methylenblau 1:5000 (20 mP).

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau, ccm	0·1	0·2	0·3	0·4	0·6	0·8	1·0
Wasser, ccm	0·9	0·8	0·7	0·6	0·4	0·2	

Die Röhren werden evakuiert und dann in einen Thermostat bei 35° C gestellt. Es wird beobachtet, wann Entfärbung eintritt. Es zeigte

sich, daß die Entfärbung sehr rasch eintritt. Die Röhren 1 und 2 mit einem Inhalt von 20 bzw. 40 γ Methylenblau waren fast entfärbt, bevor sie in den Thermostat gekommen waren, die Röhren 3 und 4 mit 60 bzw. 80 γ Methylenblau waren entfärbt nach 8- bzw. 10minutigem Stehen im Thermostat; danach kamen die Röhren 5 und 6 mit 120 bzw. 160 γ Methylenblau und schließlich Röhre 7, enthaltend 200 γ, entfärbt nach ungefähr 15minutigem Stehen im Thermostat.

Nun wurden die Versuche auf ähnliche Weise mit neuer Muskulatur und in einer bis zu 500 γ Methylenblau aufsteigenden Serie wiederholt.

Tabelle 2.

Feingeschnittene Froschmuskulatur, nicht extrahiert, 0·2 g in jeder Röhre.

Methylenblau 1 : 2000 (50 mP).

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau . . .	0·2	0·3	0·4	0·6	0·8	1·0
Wasser	0·8	0·7	0·6	0·4	0·2	

Nach Evakuierung (die für 7 Röhren ungefähr 10 Minuten in Anspruch nimmt, und die in einem Zimmer mit relativ niedriger Temperatur, in diesem Fall 10°, ausgeführt wurde) wurden die Röhren in den Thermostat gestellt. Die Röhren enthielten bzw. 100, 150, 200, 300, 400 und 500 γ Methylenblau.

Als Entfärbungszeiten ergaben sich bzw. 10, 10, 22, 27, 42 und 52 Minuten.

Wird nun die Muskulatur, anstatt sofort auf ihr Vermögen, Methylenblau zu entfärben, geprüft zu werden, ein paarmal wässeriger Extraktion, z. B. mit der 20fachen Menge Wasser, 15 Minuten jedesmal unterzogen und erst dann auf ihr Reduktionsvermögen geprüft, so erweist sich dieses als fast verschwunden. Wendet man überhaupt große Mengen Methylenblau zur Prüfung an, z. B. Mengen über 50 γ, so hält es schwer, eine sichere Entfärbung zu beobachten, sogar wenn man die Einwirkung 5 Stunden lang und länger fortdauern läßt. Geht man zu so kleinen Methylenmengen wie 20 γ und besonders 10 γ pro ccm herunter, so beobachtet man jedoch eine gewisse Entfärbung. Sie variiert nicht gerade wenig in verschiedenen Fällen. 10 γ werden vielleicht in 2 bis 3 Stunden entfärbt. Aber bereits nach vielleicht einer oder anderthalb Stunden kann man, wenn eine

Kontrollprobe vorhanden ist, eine beginnende Entfärbung wahrnehmen. Diese „Restreduktion" läßt sich nun kaum ganz wegschaffen, auch nicht durch fortgesetzte Extraktion.

Sie ist nun allerdings ziemlich unbedeutend im Verhältnis zu der ursprünglichen Spontanreduktion. Wollte man überhaupt versuchen, die Restreduktion in zahlenmäßige Beziehung zur Initialreduktion zu setzen, so kann man ja von dem Verhältnis ausgehen, daß 500γ Methylenblau durch die unbehandelte Muskulatur in nicht ganz einer Stunde entfärbt wurden, während 10 γ durch die möglichst extrahierte Muskulatur vielleicht in 2 Stunden entfärbt werden. Nimmt man ein direktes Verhältnis zwischen der Entfärbungsstärke und der in derselben Zeiteinheit entfärbten Menge Farbstoff und ein umgekehrtes Verhältnis zwischen Entfärbungsstärke und Entfärbungszeit an, so kann man ganz approximativ diese „Restreduktion" auf einige Prozent der ursprünglichen schätzen. Ganz bestimmte Werte sind jedoch schwer zu geben, da Variationen in der Stärke der Restreduktion vorkommen. Für eine und dieselbe, gleichförmig behandelte Muskelmasse zeigt sie indessen einen solchen Grad von Übereinstimmung, daß aus diesem Gesichtspunkte kein Hindernis bei gleichzeitig angestellten Versuchen besteht, festzustellen, ob ein gewisser Stoff als Aktivator des verloren gegangenen oder, genauer gesagt, kräftig zurückgedrängten Entfärbungsvermögens eintreten kann. Und solange man mit so großen Farbstoffmengen arbeitet, daß die Restreduktion im Verhältnis zu diesen klein ist, oder wenn man mit kräftigen Aktivatorsubstanzen arbeitet, so verursacht die Restreduktion keine Ungelegenheiten. Anders stellt sich jedoch die Sache, wenn man durch Wahl einer kleinstmöglichen Farbstoffmenge die Methode auf größte Empfindlichkeit einstellen und demnach versuchen will, auch Substanzen zu entdecken, die eine schwache Aktivierungswirkung ausüben.

Man könnte sich nun denken, daß die Sache dennoch leicht zu arrangieren ist. Man brauchte ja nur geeignete Kontrollproben zu veranstalten. Hier ist jedoch zu beachten, daß man durch einen geringen Zusatz von Salz in nicht geringem Grade diese Restreduktion verstärken kann, zwar nicht so, daß sie Werte erreicht, die irgendwie der primären Spontanreduktion gleichkommen, aber so, daß sie ganz unzweideutig gesteigert ist.

Trotzdem dieses Verhältnis in einem anderen Zusammenhange entdeckt wurde, sei es doch hier durch eine Tabelle klargestellt, welche den Einfluß eines Zusatzes von Natriumchlorid zu kräftig (3mal) wasserextrahierter Muskulatur zeigt.

Tabelle 3.

23 mg Natriumchlorid werden in 1 ccm Wasser gelöst (0·4-mol. Lösg.).
Methylenblau 1:5000 (20 mP).
Muskelmasse von Frosch, 3 mal mit der 20 fachen Menge Wasser, jedesmal 15 Minuten lang, geschüttelt. 0·2 g hiervon in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau, ccm	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05
Natriumchlorid, ccm . . .		0·2		0·2		0·2	
Wasser, ccm	1·0	0·8	1·0	0·8	1·0	0·8	1·0
Im Thermostat 11:10							
Ablesung 11:45 . . .	—	—	—	—	—	—	—
12:15 . . .	—	+	—	+	—	+	—
12:45 . . .	—	+ +	—	+ +	—	+ +	—
1:35 . . .	+	+ + +	+	+ + +	+	+ + +	+

Es zeigte sich also, daß ein Zusatz von Natriumchlorid in nicht ganz 0·1-molarer Stärke ziemlich beträchtlich den Eintritt der Spontanentfärbung beschleunigte. Sie war merkbar schon nach 1 Stunde, während sie ohne solchen Zusatz erst nach anderthalb Stunden, vielleicht 2 Stunden, beobachtet wurde.

In einer ähnlichen Versuchsreihe zeigte es sich, daß ein Zusatz von Kaliumchlorid den Eintritt der Spontanentfärbung um gut eine halbe Stunde beschleunigte. Der Methylenblaugehalt war wie in der Chlornatriumprobe 10 γ pro ccm. Durch eine Reihe Versuche mit Chlorkalium wurde untersucht, in welchen Mengen der Stoff anwesend sein mußte, um diese Wirkung herbeizuführen.

Tabelle 4.

15 mg Kaliumchlorid werden in 1 ccm Wasser gelöst (0·2-mol. Lösg.).
Methylenblau 1:5000 (20 mP).
Froschmuskelmasse, 3 mal geschüttelt mit der 20 fachen Menge Wasser, jedesmal 15 Minuten, 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05
Kaliumchlorid		0·05	0·1	0·2	0·3	0·4	
Wasser	1·0	0·9	0·9	0·8	0·7	0·6	1·0
Im Thermostat 5:15							
Ablesung 5:45 . . .	—	—	—	—	—	—	—
6:10 . . .	—	—	+	+	+	+	—
6:20 . . .	—	+	+	+ +	+ +	+ +	—
6:30 . . .	—	+	+ +	+ +	+ +	+ +	—
6:50 . . .	+	+ +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	—

Also: die die Spontanentfärbung beschleunigende Wirkung des Kaliumchlorids tritt bereits bei einer so schwachen Stärke wie 0·1-molarer hervor und ist bereits bei 0·04-molarer maximal.

Gilt es nun die Entdeckung durch Wasserstoffabgabe aktivierender Stoffe, so muß man genau diese Salzwirkung beachten. Es würde ein Fehler sein, auf die einfache Weise zuwegezugehen, daß man die Entfärbung einerseits in einer Probe, die Muskelmasse, Methylenblau und das Salz einer organischen Säure enthält, andererseits in einer Muskelmasse und Methylenblau enthaltenden Kontrollprobe vergliche. Eine rascher auftretende Wirkung in dem ersteren Falle könnte die gewöhnliche Salzwirkung darstellen und brauchte durchaus nicht als auf einer Donatorwirkung der organischen Säure beruhend gedeutet zu werden.

Um diese Fehlerquelle zu neutralisieren, sind nun die Versuche in der Weise angestellt worden, daß durch Zusatz einer hinreichenden Menge Salz zur Kontrollprobe Sicherheit dafür erlangt wurde, daß die aktivierende Wirkung, die der in den Hauptproben untersuchte Stoff in der Eigenschaft eines Salzes ausübte, in völlig entsprechendem Grade sich in der Kontrollprobe geltend machte.

Man konnte sich nun zu diesem Zwecke verschiedener Salze bedienen. Es war eine Mischung von Phosphaten, genauer bestimmt eine Mischung von Dikalium- und Monokaliumphosphat, die in unserem Falle zur Verwendung kam.

In Wirklichkeit war es bei einigen von anderem Gesichtspunkt aus angestellten Versuchen mit Phosphatzusatz geschehen, daß die Steigerung der Intensität der Restreduktion bei Zusatz von Salzen entdeckt worden war.

Da es sich hier ja um eine Untersuchung von Enzymen handelte, die normalerweise ihre Wirkung intrazellulär ausüben, so hatte sich die Frage erhoben, ob man nicht die Versuche in einem Medium anstellen müßte, das möglichst mit dem innerhalb der Zellen herrschenden übereinstimmte. Und insbesondere verlangte die Frage Beachtung, ob man nicht für die Anwesenheit eines so charakteristischen intrazellulären Bestandteils wie Kaliumphosphat sorgen müßte?

Durch einen Zusatz einer Mischung von Monokaliumphosphat und Dikaliumphosphat würde auch gewonnen werden, daß während des Verlaufes der Reaktion eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration gegenüber eventuell gebildeten basischen oder sauren Bestandteilen aufrecht erhalten würde. Außerdem könnte eine nicht völlig neutrale Beschaffenheit eines hinzugesetzten Stoffes dadurch kompensiert werden.

Sehr zweckmäßig wäre es nun gewesen, eine Phosphatmischung zu wählen, die ungefähr den osmotischen Druck des Zellinhalts besaß, und die die innerhalb der Zellen normal herrschende Wasserstoffionenkonzentration repräsentierte. Was indessen die Wasserstoffionenkonzentration innerhalb der Zellen betrifft, so ist sie nicht bekannt, wenn sie auch allerdings als größer als die des Blutes vorausgesetzt werden muß.[1]

Von dem Gedanken also ausgehend, daß Phosphate von Nutzen sein könnten, wurden einige Versuche unter Anwendung von Phosphatmischungen ausgeführt. Die verwendeten Präparate waren teils Kahlbaums „neutrales“ Kaliumphosphat, also das möglichst neutrale Dikaliummonohydrophosphat, das sich indessen als nicht völlig neutral erwies, sondern bei Zusatz von Phenolphthalein eine wenn auch sehr schwache Rotfärbung gab. Das verwendete Monokaliumdihydrophosphat war Kahlbaums kristallinisches Salz.

Tabelle 5.

Dikaliumphosphat, 0·174 g, werden in 10 ccm Wasser gelöst (0·1-molare Lösung).

Monokaliumphosphat, 0·136 g, werden in 10 ccm Wasser gelöst (0·1-molare Lösung).

Methylenblau 1:5000 (20 mP).

Froschmuskulatur, 3mal mit der 20fachen Menge Wasser, jedesmal 15 Minuten lang, geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05
Dikaliumphosphat		1·0	0·8	0·6	0·4	0·2	
Monokaliumphosphat			0·2	0·4	0·6	0·8	1·0
Wasser	1·0						

Die Entfärbung wird studiert. Resultat: Nach 1 Stunde sind die Röhren in folgender Weise differenziert. Die Röhren 3, 4 und 5 zeigen eine ziemlich kräftige, wenn auch nicht vollständige Entfärbung. Röhre 7 ist die stärkst gefärbte, Röhren 1 und 6 sind etwas entfärbt, aber nicht besonders deutlich. Röhre 2 weist eine Entfärbung auf, die jedoch nicht so stark ist wie die der mittleren Röhren. Nach $1^1/_2$ Stunden sind die Röhren 3, 4 und 5 entfärbt. Nach $3^1/_2$ Stunden sind die Röhren 2 bis 5

[1] Siehe z. B. Michaelis, Die Wasserstoffionenkonzentration. Berlin 1914. S. 98.

entfärbt, die Röhren 1 und 6 zeigen eine sehr schwache Farbe, Röhre 7 andauernd starke Blaufärbung.

Also: Ein Zusatz nur von Monokaliumphosphat zu 0·1-molarer Stärke bewirkt eine kräftige Hemmung der infolge der Restreduktion geschehenden Entfärbung, was, wie aus anderen Erfahrungen hervorgeht, auf der sauren Reaktion beruht. Wenn das Verhältnis zwischen Monokalium- und Dikaliumphosphat wie 4:1 ist, übt die Phosphatmischung nicht die beschleunigende Wirkung aus, welche Salzlösungen sonst auf die Restreduktion auszuüben pflegen. Ein eigentlicher Unterschied des beschleunigenden Effekts des Phosphatzusatzes wurde nicht beobachtet, wenn das Verhältnis zwischen Dikalium- und Monokaliumphosphat bzw. 4:1, 3:2 und 2:3 war. Dagegen war der Zusatz von reinem Diphosphat nicht völlig so vorteilhaft (in diesem Falle).

Man mußte sich indessen sagen, daß die beschleunigende Einwirkung auf die Restreduktion, die durch Phosphat hervorgebracht wurde, vielleicht nicht eine spezifische Phosphatwirkung war, sondern eine allgemeinere Wirkung darstellte. Und fortgesetzte Versuche zeigten, daß andere Salze dieselbe ausübten, wofür Beispiele bereits mitgeteilt worden sind.

Nach einigen weiteren Vorversuchen blieb ich bei folgendem Verfahren zur Eliminierung von seiten der Restreduktion herrührenden Irrtümern stehen. Es wurde eine Mischung von Kaliumphosphaten bereitet, die rücksichtlich des Phosphatgehalts 0·5-molar war, und in welcher Dikaliumphosphat und Monokaliumphosphat im Verhältnis 3:1 enthalten waren. Da die Molekulargewichte der genannten Verbindungen 174·3 bzw. 136·2 sind, so enthielt die erwähnte Lösung auf 10 ccm von dem Dikaliumphosphat 0·66 g und von dem Monokaliumphosphat 0·16 g (in etwas abgerundeten Zahlen). Von dieser Lösung wurden zu jeder Röhre, also sowohl zu Hauptproben als zu Kontrollproben, 0·2 ccm genommen. Da die gesamte Flüssigkeitsmenge danach 1·0 ccm war, so enthielt jede Röhre 13·2 mg Dikaliumphosphat und 3·2 mg Monokaliumphosphat. Die Versuchsflüssigkeit war also rücksichtlich ihres Gehalts an Dikaliumphosphat 0·075-molar und rücksichtlich ihres Gehalts an Monophosphat 0·025-molar.

Die eventuelle Salzwirkung auf die Hauptproben wurde demnach durch eine gleichartige auf die Kontrollprobe neutralisiert.

Man könnte indessen den Einwand erheben, daß dennoch ein Unterschied zwischen Kontrollprobe und Hauptprobe besteht, der nicht ausschließlich auf die Entstehung einer eventuellen Donatorwirkung in der letzteren zurückgeführt werden kann. Ist Phosphat in der Kontroll-

probe, dieselbe Phosphatmenge + einem neutralen Salz einer organischen Säure aber in der Hauptprobe, so kommt ja in der letzteren hinzu eine eventuelle Wirkung des höheren osmotischen Druckes nebst vielleicht auch einer stärkeren „Salzwirkung". Es wurden daher Proben teils mit Phosphat, teils mit Phosphat + einem anderen Salz in einer Konzentration ausgeführt, in welcher danach die organischen Säuren angewandt wurden. Eine Einwirkung auf den Eintritt der Restreduktion war nicht zu beobachten.

Tabelle 6.

0·33 g Dikaliumphosphat und 0·08 g Monokaliumphosphat werden in 5 ccm Wasser gelöst.

Natriumchlorid, 60 mg, in 10 ccm Wasser (0·1-molar).

Kaliumchlorid, 75 mg, in 10 ccm Wasser (0·1-molar).

Methylenblau 1:5000 (20 mP).

Froschmuskulatur, 3 mal mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05
Natriumchlorid		0·2	0·4				
Kaliumchlorid					0·2	0·4	
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Wasser	0·8	0·6	0·4	0·8	0·6	0·4	0·8
Im Thermostat 11:30							
Ablesung 12:5	—	—	—	—	—	—	—
12:15	+	+	+	+	+	+	+
12:20	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +

Kein Unterschied in der Geschwindigkeit des Eintretens der Restreduktion konnte also zwischen den drei Kontrollproben (Röhren 1, 4 und 7) und den Proben mit Zusätzen von verschiedenen Mengen Kaliumchlorid und Natriumchlorid beobachtet werden.

Bevor ich zu den Hauptversuchen übergehe, sei folgendes über das Phänomen der Restreduktion hinzugefügt.

Ich habe mir die Frage vorgelegt, worauf teils die Restreduktion, teils die verstärkende Wirkung von Salzen auf dieselbe beruht. Möglicherweise beruht die erstere darauf, daß gewisse wirkliche Aktivatoren äußerst schwer aus der Muskelmasse auszuwässern sind. Man könnte ja auf das kräftige Anhaften der Milchsäure an Eiweißkoageln, wie es nach Mondscheins[1] Untersuchungen besteht, hinweisen, wenn auch Unterschiede natürlich vorliegen. Ein Umstand, der auch für die Erklärung herangezogen werden kann, ist die eventuelle Bildung von wasser-

[1] *Biochem. Zeitschr.* 1912. Bd. XLII. S. 105.

stoffabgebenden Stoffen durch Autolyse, durch fortgesetzte Einwirkung gewisser zersetzender Fermente in der Muskelmasse. Wie weiter unten mitgeteilt werden wird, gehört ein solcher Stoff wie die Glutaminsäure zu den wirklich guten Aktivatoren. Setzen gewisse Proteasen ihre Tätigkeit fort, so können derartige Aktivatoren entstehen. Möglicherweise spielen bei der Bildung Fermente eine Rolle, die von Wasser gefällt werden und ihren optimalen Lösungszustand durch kleine Mengen Salze wiedererlangen.

Wie dem nun auch sein mag, sicher ist, daß die wichtigste Verbesserung, die an der hier vorliegenden Entfärbungsmethode vorgenommen werden könnte, eine Anordnung zur vollkommenen Behebung der Restreduktion wäre. Die Methode würde dann den weitestgehenden Ansprüchen an Empfindlichkeit und Sicherheit genügen.

Unter Beobachtung der im vorhergehenden erwähnten Vorsichtsmaßregeln sind nun folgende gesättigte und ungesättigte einbasische Säuren untersucht worden:

+ Ameisensäure,	+ Buttersäure,	+ Capronsäure,
+ Essigsäure,	Isobuttersäure,	Crotonsäure,
Propionsäure,	Isovaleriansäure,	Allylessigsäure.

Die unzweideutigen Aktivatoren sind mit einem + bezeichnet. Nur betreffs dieser werden ausführliche Protokolle mitgeteilt.

Tabelle 7.

Angewandte Lösungen: 0·1-molare der Kalisalze von Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Isovaleriansäure und Capronsäure.

Phosphatmischung (siehe die allgemeine Beschreibung).

Methylenblau 20 mP.

Froschmuskulatur, 2mal je 15 Minuten lang mit der 20fachen Menge dest. Wassers geschüttelt. 0·2 g von der Muskulatur in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Ameisensäure		0·2	0·4				
Essigsäure				0·2	0·4		
Propionsäure						0·2	0·4
Wasser	0·6	0·4	0·2	0·4	0·2	0·4	0·2
Im Thermostat 12 Vm							
Ablesung 1	—	+	+	+	+	—	—
1:25	—	+ +	+	+	+	—	—
1:55	—	+ +	+ +	+	+	—	—
2:10	+	+ + +	+ + +	+ +	+ +	+	+

Tabelle 7 (Fortsetzung).

Röhre:	8	9	10	11	12	13	14
Methylenblau	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Buttersäure		0·2	0·4				
Isovaleriansäure				0·2	0·4		
Capronsäure						0·2	0·4
Wasser	0·6	0·4	0·2	0·4	0·2	0·4	0·2
Im Thermostat 12:25							
Ablesung 1:5	—	+	+	—	—	+	+
1ᵗ·25′	—	++	+	—	—	+	+
1ᵗ·55′	—	++	+	—	—	+	+
2ᵇ·10′	—	+++	++	—	—	+	++

Ein Versuch mit Zusatz einer Mischung von Borax und Borsäure als Antiseptikum und als Reaktionsregulator sei gleichfalls mitgeteilt.

Tabelle 8.

Neutrale, 0·1-molare Lösungen von Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Isovaleriansäure und Capronsäure.

Methylenblau 20 mP.

Borsäure-Boraxlösung (1·5 Proz. Borax, 3 Proz. Borsäure).

Froschmuskulatur, 2mal mit der 20fachen Menge Wasser extrahiert, jedesmal 15 Minuten lang. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Bor.-Lösung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Ameisensäure		0·2					
Essigsäure			0·2				
Propionsäure				0·2			
Buttersäure					0·2		
Isovaleriansäure						0·2	
Capronsäure							0·2
Wasser	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5
Im Thermostat 11:10′							
Ablesung 12:00	—	—	—	—	—	—	—
1:00	—	—	—	—	—	—	—
2:15′	—	+	+	—	+	—	+
4:15′	—	+	+	—	+	—	++
6:15	—	++	++	—	+++	—	+++

Der Borsäurezusatz bewirkte demnach eine bedeutende Verlangsamung der Entfärbung. Das Entfärbungsvermögen erwies sich als aktiviert durch Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure und Capronsäure. Eine Aktivierung erschien nicht bei Propionsäure und Isovaleriansäure.

Die oben mitgeteilten Untersuchungen sind von der Auffassung ausgegangen, daß zur Reduktion des in dem System Enzym-Methylenblau enthaltenen Farbstoffes ein Stoff, eine „Donatorsubstanz", erforderlich ist, welche Wasserstoff abgibt, welch letzterer von dem Enzym auf den Farbstoff übergeführt wird. Es erhebt sich da die Frage, welche neuen Substanzen durch diese Wasserstoffabgabe aus den verschiedenen als „Donatoren" wirksamen Substanzen entstehen.

Die hier aufgestellte Frage ist in Wirklichkeit sehr umfassender Art und erfordert eine große Anzahl Spezialuntersuchungen, um im einzelnen beantwortet werden zu können. Was hier gegeben werden soll, sind nur einige theoretische Erörterungen über gewisse naheliegende Möglichkeiten, Erörterungen, die teils Bedeutung für die Klarstellung der Art der Probleme haben können, auf die man im weiteren Verfolg dieser Arbeit stößt, teils auch in ihrer Weise die Tragweite der Theorie, die dieser Arbeit zugrunde liegt, beleuchten.

Da zwei Wasserstoffatome notwendig sind, damit das Methylenblau in seine Leukoverbindung übergeführt werden soll, ist schon dies ein Grund, anzunehmen, daß die Hydrogenotransportasen gleichzeitig nicht nur ein einziges, sondern zwei Wasserstoffatome überführen. Für die Auffassung, daß die Hydrogenotransportase von der Donatorsubstanz stets 2 Wasserstoffatome nimmt, spricht auch die prototypische Reaktion, die Überführung der Bernsteinsäure in Fumarsäure. Außerdem verlangt ja die durch die Eliminierung eines Wasserstoffatoms aus einem Molekül freigemachte Valenz, daß gleichzeitig eine andere Valenz freigemacht wird, die die erstere aufnehmen kann.

Wäre nun diese Auffassung, daß ein den Dehydrogenasen ausgesetztes Molekül stets zwei Wasserstoffatome gleichzeitig abgeben muß, richtig, so sollten nur solche Substanzen als „Donatoren" fungieren können, die wirklich zwei Wasserstoffatome abgeben können. Es war daher für mich überraschend zu finden, daß die Ameisensäure das Entfärbungsvermögen der Muskulatur aktivieren konnte. Nun ist es freilich wahr, daß die Ameisensäure in ihrem Molekül $HCOOH$ über zwei Wasserstoffatome disponiert. Aber das ameisensaure Salz, z. B. $HCOOK$, verfügt nur über ein solches, das Ameisensäureion, $HCOO^-$, gleichfalls. Nun könnte man sich ja allerdings sagen, daß auch in einer neutralen Lösung stets eine gewisse Menge undissoziierter Ameisensäure vorkommen muß, und daß somit die Ameisensäure auch dort, wenn auch in äußerst verschwindender Menge, in der Form anwesend ist, daß das Molekül zwei Wasserstoffatome enthält. Indessen sind diese Wasserstoffatome

von ganz verschiedenem Werte. Das eine Wasserstoffatom ist an ein Kohlenstoffatom gebunden, das andere geht in eine Carboxylgruppe, die an Sauerstoff gebunden ist, ein. Und sofern man sich an den Prototyp, den Übergang der Bernsteinsäure in Fumarsäure, halten darf, sind es in erster Linie die an den Kohlenstoff direkt gebundenen Wasserstoffatome, auf die die Dehydrogenase gerichtet ist. Das unzweifelhafte Auftreten der Ameisensäure als Aktivator läßt sich mit der Forderung, daß das Ferment stets sich zweier Wasserstoffatome gleichzeitig bemächtigt, auf zweierlei Weise in Einklang bringen. Entweder muß man annehmen, daß das Ferment wirklich sich in den Besitz teils des an den Kohlenstoff gebundenen Wasserstoffatoms, teils des Wasserstoffs der Carboxylgruppe setzt. Oder auch kann man sich die Möglichkeit denken, daß die Dehydrogenase zwei Ameisensäuremoleküle (Ameisensäureionen) gleichzeitig angreift, ein jedes derselben eines Wasserstoffatoms beraubend. Solchenfalls sollten dann die freigewordenen Valenzen dadurch gesättigt werden, daß sie sich gegenseitig binden, und die Substanz, die hierbei entstehen muß, ist Oxalsäure:

$$\begin{matrix} \mathrm{H \cdot COOH{-}H} \\ \mathrm{H \cdot COOH{-}H} \end{matrix} = H_2 + \begin{matrix} \mathrm{COOH} \\ | \\ \mathrm{COOH} \end{matrix} .$$

Wir hätten hier also vor uns einen Fall von Synthetisierung einer längeren Kohlenstoffkette aus zwei kürzeren. In Wirklichkeit steht man durch die Entdeckung der Dehydrogenasen vor einer höchst beachtenswerten Erklärungsmöglichkeit bezüglich der Entstehung der langen Kohlenatomketten.

Die Erklärungsmöglichkeit, die sich uns aufgedrängt hat, wo es sich um die Deutung des Vermögens der Ameisensäure, als Donatorsubstanz zu dienen, handelte, dürfte auch gegenüber anderen Donatorsubstanzen zu verwerten sein, die sonst eine durchaus hinreichende Anzahl Wasserstoffatome innerhalb ihres Moleküls besitzen, die die Annahme unnötig macht, daß jedes Molekül nur ein einziges Wasserstoffatom abgebe.

Was z. B. eine solche Substanz wie Buttersäure betrifft, so liegt es nahe, sich eine Synthese einer längeren Kohlenstoffatomkette in folgender Weise zu denken:

$$\begin{matrix} \mathrm{CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH{-}H} \\ \mathrm{CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH{-}H} \end{matrix} = \begin{matrix} \mathrm{CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH} \\ | \\ \mathrm{CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH} \end{matrix} + H_2 .$$

Auf diese Weise würden nun allerdings Dicarbonsäuren entstehen, die nicht als Bestandteile des tierischen Organismus bekannt sind (die oben angegebene Dicarbonsäure mit einer 8atomigen Kohlenstoffkette ist die Korksäure). Meine Untersuchungen[1] haben aber ergeben, daß Dicarbonsäuren eine entschiedene Tendenz besitzen, Kohlensäure abzuspalten, und auf diese Weise gelangt man von Dicarbonsäuren leicht zu Monocarbonsäuren hinüber.

Eine derartige Abspaltung nur eines einzigen Wasserstoffatoms von dem endständigen Kohlenstoffatom in einer offenen Kohlenstoffkette mit darauffolgender Synthese der so mit einer freien Valenz versehenen Ketten ist jedoch nicht die einzige Möglichkeit für die Entstehung langer Kohlenstoffketten, die die Dehydrogenasen darbieten. Man kann sich denken, daß das endständige Kohlenstoffatom zwei Wasserstoffatome abgeben muß, und daß die so freigewordenen Affinitäten von zwei Ketten her die Ketten zusammenknüpfen. Unter solchen Verhältnissen müssen ungesättigte Dicarbonsäuren entstehen, die dann durch Kohlensäureabspaltung zur Entstehung ungesättigter Monocarbonsäuren führen müssen. Solchen falls würde die Doppelbindung auf die Zusammenfügungsstelle hinweisen. Für die Ölsäure würde also die genannte Stelle gerade in der Mitte der 18atomigen Kette liegen:

$$CH_3 \cdot [CH_2]_7 \cdot CH ; CH \cdot [CH_2]_7 \cdot COOH \, .$$

Doch liegt eine andere Erklärungsmöglichkeit für die Entstehung derartiger ungesättigter Glieder in einer Atomenkette in dem Angriff der Dehydrogenase auf eine gesättigte Substanz, also in Übereinstimmung mit der Entstehung der ungesättigten Fumarsäure aus der gesättigten Bernsteinsäure.

Auch wenn es möglich und in gewissen Fällen wahrscheinlich ist, daß die Dehydrogenasen Synthesen zustande bringen können, so ist doch in Betracht zu ziehen, daß die synthetisierende Wirkung schon aus dem Grunde mit weniger günstigen Verhältnissen zu arbeiten hat, weil die Reaktion mindestens trimolekular ist, was natürlich eine geringere Wahrscheinlichkeit für das Entstehen der für das Eintreten der Reaktion notwendigen Konstellationen in sich schließt, als wenn man es mit bimolekularen Reaktionen zu tun hat. Und aus diesem Grunde dürften wenigstens die Stoffe, die am deutlichsten das Entfärbungsvermögen des Systems aktivieren können, es tun, ohne dabei zu längeren Kohlenstoff-

[1] Thunberg, *Dies Archiv.* 1910. Bd. XXIV. S. 60.

atomketten synthetisiert zu werden, wenigstens wenn man den hauptsächlichen Verlauf der Reaktion ins Auge faßt. Durchaus nicht ausgeschlossen ist jedoch, daß ein und derselbe Stoff gleichzeitig vor sich gehenden verschiedenen Reaktionen ausgesetzt ist, zwischen welchen dann je nach verschiedenen Verhältnissen die Relation wechseln kann.

Auch wenn man zur Essigsäure übergeht und sich klarzumachen versucht, welcher Stoff bei der Dehydrierung derselben entsteht, stößt man auf Hindernisse für die Anwendung des einfachen prototypischen Schemas bei der Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure. Es gibt nämlich keine existenzmögliche Verbindung entsprechend der Reaktion

$$CH_3 \cdot COOH - 2H = CH \cdot COOH .$$

Die Carboxylgruppe hat ja nur eine freie Valenz, und für die beiden Valenzen, die durch Eliminierung zweier Wasserstoffatome aus dem Alkylradikal ($CH_3 - 2H$) freigemacht werden, werden daher nach einem solchen Schema keine Bindungsmöglichkeiten bestehen. Man muß unter solchen Verhältnissen an andere Möglichkeiten denken. Teils kann man annehmen, daß die Reaktion unter Aufnahme von Wasser stattfindet, wobei Glykolsäure gebildet wird:

$$CH_3 \cdot COOH - 2H + H_2O = C \begin{matrix} / H \\ - OH \\ \backslash H \end{matrix} \cdot COOH + H_2 .$$

Aber auch hier liegt es nahe, an eine Reaktion zu denken, wobei zwei Acetatmoleküle gleichzeitig je eines Wasserstoffatoms unter Verknüpfung der Kohlenstoffatomketten zu einer einzigen beraubt werden. Der Stoff, der dabei entstehen muß, ist Bernsteinsäure:

$$\begin{matrix} CH_3 \cdot COOH - H \\ CH_3 \cdot COOH - H \end{matrix} = \begin{matrix} CH_2 \cdot COOH \\ CH_2 \cdot COOH \end{matrix} + H_2 .$$

Die Umsetzung der Essigsäure würde so in die Bahn hineingleiten, die die Umsetzung der Bernsteinsäure mit den mächtigen Enzymen darbietet, die zuerst auf die Bernsteinsäure und dann auf die Fumarsäure einwirken.

In diesem Zusammenhange dürfte es vielleicht am Platze sein, daran zu erinnern, daß eine große Anzahl Versuche zu der Auffassung geführt haben, daß viele fette Säuren unter Bildung von Essigsäure umgesetzt werden. Und Löb[1] betrachtet die Essigsäure als ein gemeinsames Abbauprodukt sowohl für Kohlenhydrate wie auch Fette und Eiweißstoffe

---

[1] Löb, Über das Verhalten der Essigsäure bei künstlicher Durchblutung der Leber. *Biochem. Zeitschr.* 1912. Bd. XLV. S. 118.

Wie indessen die Essigsäure dann umgesetzt wird, ist ein ziemlich dunkles Kapitel. Die Möglichkeit, auf die hier zuletzt hingewiesen worden ist, kann in gewisser Weise als sich an eine von Porges[1] ausgesprochene Ansicht anschließend betrachtet werden, wonach der größere Teil der Essigsäure zu Synthesen verwendet wird. Auch betreffs der Ameisensäure spricht Porges die Vermutung aus, daß sie unter Synthese anderer Stoffe umgesetzt wird.[2]

Wie sich aus meinen Untersuchungen ergeben hat, ist Buttersäure ein mittelmäßig kräftiger Aktivator des Entfärbungsvermögens. Gilt es dann, die Substanzen zu betrachten, die bei der Dehydrogenisierung entstehen können, welche die Buttersäure dabei wohl erfährt, so ergeben sich mehrere Möglichkeiten, je nach der Stelle, wo die Dehydrogenisierung einsetzt. Man kann so an eine Entstehung von Vinylessigsäure $CH_2:CH \cdot CH_2 \cdot COOH$ oder auch Äthylidenessigsäure (α-Methylacrylsäure) in einer ihrer stereoisomeren Modifikationen, $CH_3 \cdot CH:CH \cdot COOH$, von denen die eine gewöhnlich Krotonsäure, die andere Isokrotonsäure genannt wird, denken.

Es dürfte bis auf weiteres das Wahrscheinlichste sein, daß der Dehydrogenisierungsprozeß die α- und β-Kohlenstoffatome angreift, also unter Entstehung von Krotonsäure (oder Isokrotonsäure).

Es dürfte hier angebracht sein, an die interessanten Untersuchungen zu erinnern, die besonders von Knoop[3] und von Embden[4] und seinen Mitarbeitern ausgeführt worden sind, und die sie zu der Auffassung geführt haben, daß die aliphatischen Fettsäuren beim Stoffwechsel in der Weise abgebaut werden, daß sie in dem β-Kohlenstoffatom oxydiert werden, und daß dies von einer Abspaltung der Kohlenstoffkette, 2 Kohlenstoffatome von dem Carboxylende, begleitet ist:

$$\ldots\ldots\ CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH + O\ ,$$
$$\downarrow$$
$$\ldots\ldots\ CH_2 \cdot CH(OH) \cdot CH_2 \cdot COOH + O$$
$$\downarrow$$
$$\ldots\ldots\ CH_2 \cdot COOH + CH_3 \cdot COOH\ .$$

---

[1] Porges, Über den Abbau der Fettsäuren im Organismus. *Ergebn. Physiol.* 1910. Bd. X. S. 32.

[2] A. a. O., S. 34.

[3] F. Knoop, Hofmeisters *Beiträge*. 1905. Bd. VI. S. 150.

[4] Embden usw., Hofmeisters *Beiträge*. 1906. Bd. VIII. S. 129; 1908. Bd. XI. S. 318.

Die Folge eines solchen Abbaus der langen Kohlenstoffatomketten ist, daß Fettsäuren mit einer geraden Anzahl Kohlenstoffatome schließlich zu Buttersäure und von da zu β-Oxybuttersäure führen sollten.

Es ist sehr möglich, daß die Knoop-Embdensche Auffassung von der Oxydation der Fettsäuren in β-Stellung zu exklusiv ist, und daß auch eine Oxydation in α-Stellung vorkommt, wofür verschiedene neue Untersuchungen sprechen. Es kann indessen als nachgewiesen angesehen werden, daß Buttersäure in β-Oxybuttersäure umgewandelt werden kann.[1] Und man kann sich unter solchen Verhältnissen fragen, wie die hier vertretene Dehydrogenisierungsauffassung in Einklang mit dem tatsächlichen Übergang der Buttersäure in eine Oxybuttersäure gebracht werden kann.

In dieser Beziehung besteht indessen keine Schwierigkeit. Die Reaktionskette dürfte sein: Buttersäure — Krotonsäure — Oxybuttersäure:

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH - 2\dot{H} \;,$$
$$\downarrow$$
$$CH_3 \cdot CH{:}CH \cdot COOH + H_2O \;,$$
$$\downarrow$$
$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CH_2 . COOH \;.$$

Die Auffassung von einer Dehydrogenisierung der Buttersäure als erstem Gliede ihrer Umsetzung steht auch in bester Übereinstimmung mit Friedmann und Maases[2] Beobachtung, daß Krotonsäure durch Leberbrei in β-Oxybuttersäure übergeführt wird.

Überhaupt unterscheidet sich die hier dargelegte Dehydrogenisierungsauffassung von den bisher üblichen Anschauungen mehr bezüglich der Entstehungsweise gewisser Zwischenprodukte als bezüglich der eigentlichen Art derselben. Den Übergang der Buttersäure in Oxybuttersäure faßt sie so nicht als ein Resultat der direkten Reaktion des Buttersäuremoleküls mit Sauerstoff auf, sondern als ein Resultat teils einer ersten Dehydrogenisierung und teils einer sich daran knüpfenden Hydrierung (in der Bedeutung von Wasseraufnahme). Die Einführung von Sauerstoff in das Molekül wird also nicht dadurch bedingt, daß der Sauerstoff direkt dasselbe angreift, sondern sie ist eine Folgeerscheinung des ungesättigten Charakters, den die Säure durch die vorhergehende

[1] Siehe z. B. die Darlegungen hierüber in Fürth, *Probleme d. physiol. u. pathol. Chemie.* 1913. Bd. II. S. 425 oder Abderhalden, *Lehrbuch d. physiol. Chemie.* 1914. Bd. I. S. 283.

[2] Friedmann und Maase, Überführung von Krotonsäure in 1-β-Oxybuttersäure durch Leberbrei. *Biochem. Zeitschr.* 1913. Bd. LV. S. 450.

Dehydrogenisierung enthält. Sehr möglich ist es, daß es neben bisher bekannten hydrolytischen Enzymen, die gleichzeitig die Substanzen, auf die sie einwirken, spalten, andere wasserüberführende Enzyme, „Hydato-Transportasen", gibt, deren Wirkung in der Einführung von Wasser in ungesättigte Verbindungen oder vielleicht, genauer gesagt, in einer katalytischen Beschleunigung einer ohnedies vor sich gehenden „Hydatisierung" (Hydrierung) besteht. (Der Begriff Hydrierung ist insofern unzweckmäßig, als er sowohl zur Bezeichnung einer Addition von Wasserstoff als einer Addition von Wasser angewandt werden kann. Die Notwendigkeit eines scharfen Auseinanderhaltens dieser Prozesse macht es wünschenswert, daß man sich an neue Bezeichnungen gewöhnt. Versuchsweise kann man die klaren Begriffe „Hydrogenisierung" und „Hydatisierung" verwenden.)

Die Anzahl Möglichkeiten, die sich bereits bei der Frage betreffs der Dehydrogenisierungsprodukte aus der Buttersäure darbieten, steigert sich in der kräftigsten Weise, wenn man zu Verbindungen mit noch längerer Kohlenstoffkette hinaufsteigt. Und wenn man sich hierbei eine Vorstellung von den verschiedenen Möglichkeiten zu bilden versucht, stößt man auf Lücken in unserem chemischen Wissen, die darauf hindeuten, wie wenig Aufmerksamkeit man der Frage der Dehydrogenisierungsprodukte aus ziemlich gewöhnlichen Verbindungen gewidmet hat. Alles zeigt, wie wenig man daran gedacht hat, daß derartige Dehydrogenisierungsprozesse von der größten theoretischen und praktischen Bedeutung sind.

Daß eine in einer Verbindung bereits bestehende Doppelbindung nicht hindert, daß die Verbindung fortgesetzt als Aktivator des Entfärbungsvermögens der Muskelmasse fungiert, was auf eine fortgesetzte Dehydrogenisierung der Substanz deutet, geht am besten aus den aktivierenden Eigenschaften der Fumarsäure (und der Maleinsäure) hervor. Es erschien jedoch von Interesse, auch für die Reihe der Monocarbonsäuren diese Sache zu untersuchen, weshalb Versuche mit zwei zur Verfügung stehenden ungesättigten Verbindungen, nämlich Krotonsäure und Allylessigsäure, angestellt wurden:

Krotonsäure	Allylessigsäure
$CH_3 \cdot CH:CH \cdot COOH$	$CH_2:CH \cdot CH_2 \cdot CO_2 \cdot COOH$.

Es zeigte sich da, daß, wenn die Krotonsäure überhaupt ein Aktivierungsvermögen besitzt, es wenigstens weit schwächer ist als das der entsprechenden gesättigten Fettsäure, der Buttersäure.

Wie bereits hervorgehoben worden, kann jedoch begründeter Anlaß bestehen, sich zu denken, daß die Krotonsäure erst durch Wasseraufnahme in eine Oxybuttersäure übergeht. Und die Oxybuttersäuren erweisen sich als vortreffliche Aktivatoren.

Was die Allylessigsäure betrifft, so würde ein Vergleich mit der normalen Valeriansäure von Interesse sein. Die normale Valeriansäure ist jedoch nicht untersucht worden. Das schwache Entfärbungsvermögen, das die Allylessigsäure möglicherweise besitzt, kann daher noch nicht in seinen rechten Zusammenhang eingereiht werden.

Ein großes Arbeitsfeld eröffnet sich rücksichtlich des Verhältnisses zwischen Verbindungen mit gerader und verzweigter Kohlenstoffatomkette. Von Monocarbonsäuren mit verzweigter Kette sind bisher nur Isovaleriansäure und Isobuttersäure untersucht worden:

Isovaleriansäure	Isobuttersäure
$\genfrac{}{}{0pt}{}{CH_3}{CH_3}\!>CH\cdot CH_2\cdot COOH$	$\genfrac{}{}{0pt}{}{CH_3}{CH_3}\!>CH\cdot COOH$.

Während die Buttersäure ein deutliches Aktivierungsvermögen zeigt, hat ein solches bezüglich der Isobuttersäure nicht nachgewiesen werden können. Und ebenso hat auch ein unzweideutiges Aktivierungsvermögen für die Isovaleriansäure nicht nachgewiesen werden können.

Es ist oben hervorgehoben worden, daß die vorliegenden Untersuchungen sich an einige von mir früher veröffentlichte Untersuchungen über den Einfluß anschließen, den eine große Anzahl organischer Säuren auf den Gasaustausch der Froschmuskulatur ausüben. Vergleicht man nun die Resultate, zu denen ich[1] damals kam, mit den nun erhaltenen, so sieht man, daß es mit meinem Mikrorespirometer, der doch die Reaktion der Fumarsäure, Äpfelsäure und Zitronensäure mit der Muskelmasse enthüllte, nicht möglich war, nachzuweisen, daß die Ameisensäure, Essigsäure und Buttersäure durch sie oxydiert werden. Dagegen hat es sich bei der hier angewandten „Entfärbungsmethode“ deutlich gezeigt, daß eine Dehydrogenisierung (oder, wenn man so will, Oxydierung, um den älteren, nicht so speziellen Ausdruck anzuwenden) dieser Substanzen als stattfindend angesehen werden muß.

Hierbei dürfte es zunächst eine Rolle spielen, daß bei den „Entfärbungsversuchen“ extrahierte Muskelmasse angewandt worden ist, was zur Folge hat, daß die untersuchte Substanz nicht oder nicht in demselben Maße mit bereits anwesenden Nährstoffen bezüglich der Avidität

[1] *Dies Archiv.* 1910. Bd. XXIV. S. 23.

der Zellsubstanz in Konkurrenz treten muß.[1] Außerdem aber kommt als ein ebenso wichtiger Faktor hinzu, daß die Entfärbungsmethode natürlich die empfindlichere ist, wie einige Berechnungen auch leicht zeigen.

Ohne die allergeringste Schwierigkeit kann man in einem Flüssigkeitsquantum von 1 ccm eine Entfärbung von 10 γ Methylenblau beobachten. Man kann sich da fragen, wieviel Sauerstoff für eine Oxydierung der Wasserstoffmenge verbraucht worden wäre, die für die Entfärbung der 10 γ Methylenblau erforderlich ist.

Für die Aufnahme von 2 Atomen Wasserstoff ist erforderlich ein Molekül Methylenblau (Molekulargewicht + $3\,H_2O$ = 374·4) oder 1 Atom Sauerstoff (Molekulargewicht 16). Das Verhältnis, das zwischen der Menge Sauerstoff und der Menge Methylenblau, die für die Bindung derselben Menge Wasserstoff notwendig ist, besteht, ist also 16 : 374·4. Also: den 10 γ Methylenblau entsprechen $\frac{16}{374 \cdot 4} \times 10 = 0 \cdot 427\,\gamma$ Sauerstoff. Da man indessen durch Angabe von Raummaßen eine anschaulichere Vorstellung von den Mengenverhältnissen erhält, wenn es sich um einen gasförmigen Stoff wie Sauerstoff handelt, so sei daran erinnert, daß 1 g Sauerstoff gleich 0·7 Liter (bei 0° und 760 mm Hg) ist. 1 mg ist also gleich 0·7 ccm und 1 γ gleich 0·7 cmm. 0·427 γ entspricht also 0·299 cmm Sauerstoff oder abgerundet 0·3 cmm.

Diese Berechnung zeigt demnach, daß, wenn es mittels einer gasanalytischen Methode die Oxydation eines Wasserstoffdonators, der eine Entfärbung von 10 γ Methylenblau bewirkt, nachzuweisen gilt, diese gasanalytische Methode imstande sein muß, mit größter Sicherheit in dem vorhandenen System eine Verminderung der Sauerstoffmenge um 0·3 cmm nachzuweisen.

Dies dürfte freilich nicht außerhalb der Grenzen der modernen gasanalytischen Methode liegen, es sind aber solchenfalls ganz besondere Anordnungen zur Aufrechterhaltung konstanter Temperatur, konstanten Drucks usw. erforderlich. Und wollte man zu einer Titriermethode greifen, so stößt man auf die Schwierigkeit, den Sauerstoff zugänglich in einer Flüssigkeit zu erhalten, die frei von anderen mit den angewandten Reagenzien reagierenden Substanzen ist.

Alles dies bewirkt, daß die hier verwendete Entfärbungsmethode für das Studium gewisser Oxydationen verschiedene Vorteile besitzt und sie in den Stand setzt, Umsetzungen von einem Feinheitsgrade nach-

[1] Siehe darüber Thunberg, *Dies Archiv.* 1911. Bd. XXV. S. 53.

zuweisen, wie er sonst schwer erreichbar ist. Gleichzeitig liegt für gewisse Zwecke natürlich eine Beschränkung darin, daß die Methode, sofern meine Deutung derselben richtig ist, nur diejenige Art von Oxydationserscheinung nachweist, die genauer präzisiert als Dehydrogenisierungserscheinung, demnach als eine Art indirekter Oxydation zu deuten ist.

Im Vergleich mit dem Thunbergschen Mikrorespirometer in seinen gewöhnlicheren Formen, bei denen die Ablesung nicht genauer als auf ungefähr 3 cmm geschieht, ist diese Methode bedeutend empfindlicher. 3 cmm Sauerstoffgas würden 100 γ Methylenblau entsprechen. Und während 3 cmm Sauerstoffgas die Grenze für die Sicherheit der Ablesung darstellt, repräsentieren 10 γ Methylenblau bereits eine ausgesprochene Farbenstärke, deren Veränderung mit größter Leichtigkeit beobachtet werden kann.

Gesättigte und ungesättigte Dicarbonsäuren.

Von diesen Gruppen sind untersucht worden:

— Oxalsäure	$\begin{array}{l} COOH \\ \vert \\ COOH\,. \end{array}$
Malonsäure	$\begin{array}{l} COOH \\ \vert \\ CH_2\cdot COOH\,. \end{array}$
Dimethylmalonsäure .	$\begin{array}{l} CH_3\diagdown\quad\diagup COOH \\ \qquad\;\; C \\ CH_3\diagup\quad\diagdown COOH\,. \end{array}$
Äthylmalonsäure . . .	$\begin{array}{l} CH_3\cdot CH_2\diagdown\quad\diagup COOH \\ \qquad\qquad\;\; C \\ \qquad\quad H\diagup\quad\diagdown COOH\,. \end{array}$
Diäthylmalonsäure . .	$\begin{array}{l} CH_3\cdot CH_2\diagdown\quad\diagup COOH \\ \qquad\qquad\;\; C \\ CH_3\cdot CH_2\diagup\quad\diagdown COOH\,. \end{array}$
+ Bernsteinsäure . . .	$\begin{array}{l} COOH \\ \vert \\ CH_2\cdot CH_2\cdot COOH\,. \end{array}$
Methylbernsteinsäure . (Pyroweinsäure)	$\begin{array}{l} \qquad\quad COOH \\ \qquad\quad \vert \\ CH_3{-}CH\cdot CH_2\cdot COOH\,. \end{array}$
Glutarsäure	$\begin{array}{l} COOH \\ \vert \\ CH_2\cdot CH_2\cdot CH_2\cdot COOH\,. \end{array}$

Adipinsäure . . . .

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH\ . \end{array}$$

Korksäure . . . . .

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH\ . \end{array}$$

Azelainsäure . . . .

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH\ . \end{array}$$

Allylmalonsäure . . .

$$\begin{array}{r} COOH \\ | \\ CH_2 : CH \cdot CH_2 \cdot CH \\ | \\ COOH\ . \end{array}$$

\+ Fumarsäure . . . .

$$\begin{array}{ccc} HO_2C - & C & - H \\ & \| & \\ H - & C & - CO_2H \end{array}$$

\+ Maleinsäure . . . .

$$\begin{array}{ccc} H - & C & - CO_2H \\ & \| & \\ H - & C & - CO_2H \end{array}$$

(Fumarsäure und Maleinsäure:)

$$\begin{array}{l} COOH \\ CH \\ CH \\ | \\ COOH\ . \end{array}$$

Itaconsäure . . . .

$$\begin{array}{l} CH_2{=}C{-}COOH \\ \quad\ | \\ \quad CH_2{-}COH\ . \end{array}$$

Citraconsäure . . . .

$$\begin{array}{l} CH_3{-}C{-}COOH \\ \quad H{-}C{-}COOH\ . \end{array}$$

Mesaconsäure . . . .

$$\begin{array}{l} CH_3{-}C{-}COOH \\ COOH{-}C{-}H\ . \end{array}$$

Glutaconsäure . . . .

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH : CH \cdot CH_2 \cdot COOH\ . \end{array}$$

(Wie aus den Formeln hervorgeht, ist Itaconsäure dasselbe wie Methylenbernsteinsäure, und ebenso sind Mesaconsäure mit Methylfumarsäure und Citraconsäure mit Methylmaleinsäure identisch.)

Von den untersuchten Stoffen bietet zunächst die Oxalsäure Interesse aus dem Grunde dar, weil dieser Stoff, weit davon entfernt, die Entfärbung von Methylenblau zu beschleunigen oder zu veranlassen, vielmehr hemmend auf die Entfärbung wirkt. Da die Erscheinung ziemlich überraschend war, wurde sie durch eine ganze Reihe wiederholter Versuche kontrolliert. Folgendes Versuchsprotokoll sei mitgeteilt.

Tabelle 9.

Oxalsäure und Malonsäure, 0·1-molare Lösungen (neutrales Kalisalz).
Phosphatmischung.
Methylenblau, 20 mP.
Froschmuskulatur, 3 mal mit der 20 fachen Menge Wasser geschüttelt, jedesmal 15 Min. lang. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05	0·05
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Oxalsäure		0·2	0·4		
Malonsäure				0·2	0·4
Wasser	0·8	0·6	0·4	0·6	0·4
Im Thermostat 11:35′					
Ablesung 12:40 . . .	—	—	—	—	—
1:45′ . . .	+	—	—	—	—
2:30′ . . .	+ +	—	—	+	+
5:00′ . . .	+ + +	+	+	+ + +	+ + +

Während also der Effekt des spontanen Entfärbungsvermögens der Muskulatur in diesem Falle deutlich nach 2 Stunden in der Kontrollprobe hervorgetreten ist, welch letztere übrigens nach $5^1/_2$ Stunden vollständig entfärbt ist, ist erst nach dieser Zeit eine deutlichere Entfärbung in der mit Oxalat versetzten Probe eingetreten. In diesem Falle scheint auch die Malonsäure etwas verzögernd auf die Entfärbung gewirkt zu haben, jedoch durchaus nicht in demselben Grade wie die Oxalsäure, und das Phänomen ist überhaupt nicht so ausgeprägt und konstant gewesen wie für die Oxalsäure.

Die verzögernde Einwirkung von Oxalat auf das spontane Entfärbungsvermögen der Muskelmasse gegenüber Methylenblau erinnert an die von mir zuvor[1] beobachtete Tatsache, daß derselbe Stoff eine eigentümliche selektive Hemmung auf den Gasaustausch des Muskels ausübt, indem sowohl Kohlensäureabgabe als Sauerstoffaufnahme gehemmt werden, aber in einem ganz verschiedenen Verhältnis; die Kohlensäureabgabe wird viel mehr als die Sauerstoffaufnahme gehemmt, mit dem Resultat, daß der Quotient CO_3/O_2 weit unter seinen normalen Wert sinkt.

Eine Deutung dieser hemmenden Einwirkung der Oxalsäure auf die Methylenblauentfärbung läßt sich nicht ohne besondere Versuche geben. Neben einer reinen Giftwirkung hat man indessen auch die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß die Oxalsäure als ein Wasserstoffakzeptor auftreten und mit dem Methylenblau konkurrieren kann.

[1] *Dies Archiv.* 1909. Bd. XXII. S. 430.

Wenn auch die Fermente, die hier Gegenstand der Untersuchung sind, als ihre Hauptfunktion die haben dürften, die Nährstoffe durch Überführung ihres Wasserstoffs auf den Sauerstoff als Akzeptor zu oxydieren, darf doch nicht außer acht gelassen werden, daß, gleichwie ein solcher Stoff wie Methylenblau an die Stelle des Sauerstoffs als Akzeptor eintreten kann, möglicherweise auch andere Stoffe, und vielleicht gerade Stoffe, die eine Rolle im Leben der Zelle spielen, auf dieselbe Weise auftreten können. Mit anderen Worten, die Dehydrogenase kann gegenüber gewissen Stoffen als Hydrogenase fungieren, eine Auffassung, die bereits Wieland ausgesprochen hat. — Natürlich ist diese Möglichkeit äußerst hypothetisch in dem hier vorliegenden Falle. Sie lädt indessen zu fortgesetzten Untersuchungen in mehreren Hinsichten ein.

Vielleicht verdient es hervorgehoben zu werden, daß die Substanz, die durch die Dehydrogenisierung der Oxalsäure entstehen würde, Glyoxalsäure ist.

Bei Untersuchung der übrigen Säuren tritt zunächst die Bernsteinsäure als ein äußerst kräftiger Aktivator hervor. Ein sehr kräftiger Aktivator ist auch die Fumarsäure. Auch die Maleinsäure übt eine unzweideutige und durchaus nicht schwache Aktivierung aus.

Was die Rolle der Bernsteinsäure als Donatorsubstanz betrifft, so ist sie ja bereits zuvor von mir studiert worden, und es sei hier nur daran erinnert, daß sie bei ihrer Dehydrogenisierung in Fumarsäure übergeht. Es war nun von großem Interesse, zu untersuchen, ob auch die Fumarsäure als Wasserstoffdonator fungieren könnte, trotzdem sie bereits eine wasserstoffarme, ungesättigte Säure darstellte. Das Ergebnis der Prüfung war positiv. Die Fumarsäure zeigte ein sehr kräftiges Aktivierungsvermögen. Gleichzeitig wurde indessen eine interessante Erscheinung beobachtet. Im Gegensatz zu der überwiegenden Anzahl Aktivatoren bewirkte die Fumarsäure niemals völlige Entfärbung der hinzugesetzten Menge Methylenblau, sondern nach einer Zeit rascher Einwirkung der Methylenblauquantität hörte die Entfärbung ganz auf. Sehr deutlich trat dies hervor, wenn Versuche mit Fumarsäure gleichzeitig mit Versuchen mittels anderer kräftiger Aktivatoren angestellt wurden. Verglich man das Aktivierungsvermögen der Fumarsäure z. B. mit dem der Mesoweinsäure (auf welchen Stoff wir weiter unten zurückkommen), so war das Resultat, daß das Entfärbungsvermögen der Fumarsäure zunächst kräftiger einsetzte. Nach einer Weile überholte jedoch die Mesoweinsäure die Fumarsäure und bewirkte ziemlich rasch völlige Entfärbung, während dieses Endresultat niemals mittels Fumarsäure erreicht wurde.

Tabelle 10.

Mesoweinsäure, Fumarsäure und Maleinsäure, 0·1-molare Lösungen, neutral.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 2mal mit der 20fachen Menge Wasser, jedesmal 15 Minuten lang, geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

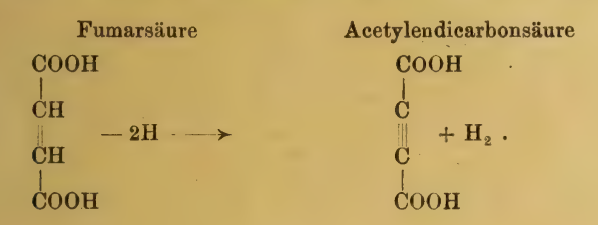
Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Mesoweinsäure		0·2	0·4				
Fumarsäure				0·2	0·4		
Maleinsäure						0·2	0·4
Wasser	0·7	0·5	0·3	0·5	0·3	0·5	0·3
Im Thermostat 12:30							
Ablesung 12:45	—	+	+	+	+	—	—
1:00	—	+	+	+ +	+ +	+	+
1:15	—	+ +	+ +	+ +	+ +	+	+
1:45	—	+ + +	+ + +	+ +	+ +	+	+
2:30	+ +	+ + +	+ + +	+ +	+ +	+ +	+ +

Die Ursache dafür, daß die Reaktion auf halbem Wege stehen blieb, wenn Fumarsäure als Aktivator angewandt wurde, wurde zunächst in der Entstehung eines giftigen Umsetzungsproduktes bei der Dehydrogenisierung der Fumarsäure gesucht. War diese Auffassung richtig, so mußte jedoch völlige Entfärbung erreicht werden, wenn nur eine geringe Menge Methylenblau zu entfärben war. Solchenfalls konnte das Gift nie eine solche Konzentration erreichen, daß es die enzymatische Reaktion hemmte. Das kräftige Einsetzen der Reaktion zu Anfang zeigte ja, daß ein eventuell durch die Umsetzung erzeugtes Gift erst eine gewisse Konzentration erreichen mußte, bevor die hemmende Einwirkung sich geltend machte. Und wenn nun so wenig Methylenblau zu entfärben war, daß die Entfärbung desselben stattfinden konnte, bevor die Konzentration des Giftes hinreichend stark geworden war, mußte völlige Entfärbung erreichbar sein.

Bei Versuchen, vollständige Entfärbung dadurch zu erreichen, daß die Konzentration des hinzugesetzten Methylenblaus vermindert wurde, während alle übrigen Faktoren konstant gehalten wurden, zeigte es sich, daß die Entfärbung ständig auf halbem Wege stehen blieb. Die hinzugesetzte Menge Methylenblau wurde z. B. von 40 γ bis herunter zu 10 γ variiert, wobei von der Beobachtung ausgegangen wurde, daß beim Ver-

suche der Entfärbung einer Probe mit 40 γ Methylenblau, 20 γ sicher als entfärbt vor Beendigung der Reaktion angesehen werden mußten, weshalb anzunehmen war, daß 10 γ mit Sicherheit entfärbt werden konnten, bevor das Gift alle Reaktion hemmte.

Dieser Umstand, daß unabhängig von der ursprünglich hinzugesetzten Menge Methylenblau die Entfärbung stets auf halbem Wege stehen blieb, zwang zu einer anderen Deutung, der nämlich, daß hier ein reversibler Prozeß mit einer Gleichgewichtslage vorlag, die sich nicht überschreiten ließ. Für die Formulierung dieses reversiblen Prozesses erlauben wir uns schon jetzt hervorzuheben, daß die Substanz, die bei Dehydrogenisierung der Fumarsäure auftreten muß, Acetylendicarbonsäure ist:



Und der Verlauf, der unter der Einwirkung der Fumarico-Dehydrogenase bei Gegenwart von Fumarsäure und Methylenblau in dem System sich abspielen muß, ist folgender:

Fumarsäure + Methylenblau ⇄ Acetylendicarbonsäure + Methylenweiß.

Diese Deutung lädt zu experimenteller Verifikation ein. Ist sie richtig, so muß die Entfärbung des Methylenblaus zu vollständiger Entfärbung fortschreiten, wenn das Methylenblau in demselben Maße, wie es entsteht, weggeschafft werden könnte. Und dasselbe Resultat muß erlangt werden können, wenn die Acetylendicarbonsäure in demselben Maße, wie sie gebildet wird, weggeschafft oder umgesetzt werden könnte. Weiterhin führt sie zu der Konsequenz, daß aus dem System Enzym-Methylenweiß-Acetylendicarbonsäure Fumarsäure und Methylenblau entstehen müssen, bis eine gewisse Gleichgewichtslage erreicht worden ist.

Der Gedanke einer Entstehung einer bestimmten Gleichgewichtslage bei Anwendung von Methylenblau als Wasserstoffakzeptor ist nicht neu. Bei seinen Studien über Dehydrogenisierungsprozesse traf Wieland[1] das fragliche Phänomen an.

[1] Wieland, *Ber. d. deutsch. chem. Ges.* 1913. Bd. XLVI. 3. S. 3331.

Auch die Maleinsäure bewirkt niemals vollständige Entfärbung. Weil die initiale Entfärbung nicht so kräftig ist, wie wenn es sich um Fumarsäure handelt, ist das Phänomen nicht so augenfällig. Auch für die Maleinsäure liegt es am nächsten, eine Bildung von Acetylendicarbonsäure anzunehmen. Solchenfalls gelangt man indessen zu einer Ergänzung der oben angegebenen Gleichgewichtsformel auf folgende Weise:

$$\left.\begin{matrix}\text{Fumarsäure}\\ \text{Maleinsäure}\end{matrix}\right\} + \text{Methylenblau} \rightleftarrows \text{Acetylendicarbonsäure} + \left\{\begin{matrix}\text{Leukoprodukt des}\\ \text{Methylenblaus.}\end{matrix}\right.$$

Gleichgültig, ob Fumarsäure oder Maleinsäure der Ausgangspunkt ist, müßten unter Voraussetzung der Richtigkeit dieser Formel schließlich sämtliche drei Säuren im System vorhanden sein.

Während die Oxalsäure also als eine typisch hemmende Substanz eintrat, und während die Malonsäure möglicherweise in dem Falle sich an die Oxalsäure anschließt, schien dagegen ein gewisses Entfärbungsvermögen den oberhalb der Bernsteinsäure liegenden Gliedern der Oxalsäurereihe zuzukommen. Doch war es nicht von der Art, daß es als unzweideutig angesehen werden könnte. Der störende Einfluß der Restreduktion machte die Reaktionen in diesen Fällen unsicher.

Monohydroxylderivate von Fettsäuren.

Von Monohydroxylderivaten der Fettsäuren sind untersucht worden:

Glykolsäure $CH_2(OH) \cdot COOH$.

+ Milchsäure (inaktive Gärungsmilchsäure) $CH_3 \cdot OH(OH) \cdot COOH$.

+ α-Oxybuttersäure $CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH(OH) \cdot COOH$.

+ β-Oxybuttersäure $CH_3 \cdot CH(OH) \cdot CH_2 \cdot COOH$ (inaktiv).

α-Oxyisobuttersäure $\begin{matrix}CH_3\\ CH_3\end{matrix}\!\!>C(OH) \cdot COOH$.

Glyzerinsäure $CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot COOH$.

Von Polyhydroxylderivaten der Fettsäuren ist untersucht worden:

Glykonsäure $CH_2(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot CH(OH) \cdot COOH$.

Von diesen Substanzen haben Glykolsäure und Oxyisobuttersäure keine aktivierende Wirkung gezeigt, und was die Glyzerinsäure und die Glykonsäure betrifft, so ist sie hier zum mindesten sehr schwach. Dagegen sind die Milchsäure (wie Harden bereits für Kaninchenmuskulatur gezeigt hat) und die Oxybuttersäuren gute Aktivatoren.

Zu bemerken ist, daß die Milchsäure und die Oxybuttersäure in ihren physiologisch weniger interessanten Razemformen untersucht worden sind, die ja aber allerdings die beiden aktiven Formen enthalten. Natürlich wäre es wünschenswert, daß die Versuche für jede von diesen für sich wiederholt würden. Es ist indessen schwierig, Fleischmilchsäure zu erhalten, die von Bernsteinsäure frei ist.

Betreffs der Milchsäure und der α-Oxybuttersäure teilen wir hier Tabellen mit. Bezüglich der Aktivität der β-Oxybuttersäure sei auf die Tabellen im Kapitel über die Ausdifferenzierung der Enzyme verwiesen.

Tabelle 11.

Glykolsäure, Milchsäure, α-Oxybuttersäure und Oxyisobuttersäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Phosphatmischung.

Methylenblau, 20 mP.

Froschmuskulatur, 2mal mit der 20fachen Menge Wasser, jedesmal 15 Min. lang, geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Glykolsäure		0·4			
Milchsäure			0·4		
α-Oxybuttersäure				0·4	
Oxyisobuttersäure					0·4
Wasser	0·7	0·3	0·3	0·3	0·3
Im Thermostat 12:10					
Ablesung 12:25	—	—	+	+	—
12:40	—	—	++	++	—
1:10	—	—	+++	+++	—

Wenn es gilt, sich klarzumachen, welche Produkte durch die Dehydrogenisierung der Milchsäure und der Oxybuttersäuren entstehen, kann man sich verschiedene Weisen des Dehydrogenisierungsprozesses denken. Einmal läßt es sich denken, daß es der an die Kohlenstoffatome gebundene Wasserstoff ist, der aus den Molekülen eliminiert wird, in welchem Falle aus der Milchsäure α-Oxyacrylsäure entstehen würde:

$$CH_3 \cdot CH(OH) \cdot COOH - 2H = CH_2 : C(OH) \cdot COOH + H_2 .$$

Nach der „Erlenmeyerschen Regel“[1] sind jedoch Säuren dieses

[1] Siehe z. B. Meyer und Jacobson. 2. Auflage. Bd. I. 1. S. 901 u. 902 und Bd. I. 2. S. 625.

Typs kaum beständig, sondern lagern sich in Ketonsäuren um, in welchem Falle aus der fraglichen Oxyacrylsäure Pyrotraubensäure entsteht:

$$CH_2\colon C(OH)\cdot COOH - CH_3\cdot CO\cdot COOH\,.$$

Die α-Oxyacrylsäure ist die Enolform der Pyrotraubensäure, und wenn sie überhaupt als solche existiert, ist es eine bestimmte Gleichgewichtslage zur Pyrotraubensäure, in welcher sie besteht.

Es ist nun von Interesse, daß, wenn man sich die Milchsäure so angegriffen dächte, daß die Dehydrogenase sie teils des Wasserstoffatoms, das in ihr Hydroxyl eingeht, teils des Wasserstoffatoms, das an das die Hydroxylgruppe fixierende Kohlenstoffatom gebunden ist, beraubt, gleichfalls Pyrotraubensäure entstehen würde. Und wie aus dem Umstande, daß die Tartronsäure der Dehydrierung zugänglich ist (siehe weiter unten), hervorgeht, kann man eine derartige, auch den Wasserstoff der Hydroxylgruppe in Anspruch nehmende Dehydrogenisierung als in gewissem Falle wahrscheinlich ansehen. — Auch die Dehydrogenisierungstheorie weist demnach auf die große physiologische Bedeutung der Pyrotraubensäure hin, in Übereinstimmung mit Neubergs bekannter Auffassung.[1]

Auch in diesem Punkte ist es also eigentlich rücksichtlich der Entstehungsweise der Produkte, nicht dagegen aber rücksichtlich der Natur derselben, daß die Dehydrogenisierungsauffassung zu anderen Resultaten als die bisher üblichen Auffassungen führt.

Was die Produkte der Dehydrogenisierung der β-Oxybuttersäure betrifft, so führt eine Dehydrogenisierung, ob sie nun die Wasserstoffgruppen der α- und β-Kohlenstoffatome oder die der β- und γ-Kohlenstoffatome angreift, zu Säuren, die Enolformen der Acetessigsäure darstellen. Die Dehydrogenisierungstheorie steht also rücksichtlich des Endresultats der „Oxydation" der β-Oxybuttersäure in bester Übereinstimmung mit einer auf diesem Gebiete zuvor gewöhnlichen Auffassung:

$$\begin{array}{ccc} \overset{\gamma}{CH_3}\cdot\overset{\beta}{CH(OH)}\cdot\overset{\alpha}{CH_2}\cdot COOH & \quad & \overset{\gamma}{CH_3}\cdot\overset{\beta}{CH(OH)}\cdot\overset{\alpha}{CH_2}\cdot COOH \\ \downarrow & & \downarrow \\ CH_3\colon C(OH)\cdot CH_2\cdot COOH & & CH_3\cdot C(OH)\colon CH\cdot COOH \\ \downarrow & & \downarrow \\ CH_3\cdot CO\cdot CH_2\cdot COOH\,. & & CH_3\cdot CO\cdot CH_2\cdot COOH\,. \end{array}$$

---

[1] Siehe Neuberg, Der Zuckerumsatz der Zelle. *Handb. d. Biochemie.* Ergänzungsbd. S. 572ff.; ferner Neuberg u. Färber, *Biochem. Zeitschr.* 1917. Bd. LXXIX. S. 376.

Daß diese beiden Wege zur Acetessigsäure hinführen, die also sozusagen einen Kreuzungspunkt für die beiden möglichen Wege darstellt, steht natürlich in Zusammenhang damit, daß der Wasserstoff in der Hydroxylgruppe eben zu den Kohlenstoffatomen mit Doppelbindung wandert.

Die eigentümliche Tatsache, daß die α-Oxybuttersäure ein ungefähr gleich guter Aktivator wie die β-Oxybuttersäure ist, macht es wünschenswert, die Möglichkeit ihrer Entstehung beim Stoffwechsel zu untersuchen. Hier soll nur betont werden, daß nach demselben Schema, das für die β-Oxybuttersäure angewandt worden ist, die α-Oxybuttersäure zur Entstehung von Methyl-Pyrotraubensäure (über die entsprechende unbeständige Enolform hin) führen muß.

Hydroxylderivate von zwei- und mehrbasischen Säuren.

Von dieser Gruppe sind untersucht worden:

+ Tartronsäure	COOH–CH·OH–COOH .
+ l-Äpfelsäure . . . . + i-Äpfelsäure	COOH–CH·OH–CH_2–COOH .
d-Weinsäure . . . . + l-Weinsäure . . . . + Traubensäure . . . . + Mesoweinsäure . . .	COOH–CH·OH–CH·OH–COOH .
+ l-α-Oxyglutarsäure . .	COOH–CH·OH·CH_2·CH_2·COOH .
+ Zitronensäure	CH_2·COOH–C(OH)(COOH)–CH_2·COOH .

Das Resultat dieser Untersuchung war, daß die Tartronsäure ein wenig bedeutendes, aber unzweideutiges Aktivierungsvermögen zeigte,

und daß ein solches nicht bei der gewöhnlichen rechtsdrehenden Weinsäure entdeckt werden konnte, während die übrigen Weinsäuren, die Äpfelsäure, die Zitronensäure und die Oxyglutarsäure sich als besonders kräftige Aktivatoren erwiesen.

Betreffs des sehr kräftigen Entfärbungsvermögens der Zitronensäure sei auf die Ausdifferenzierungsversuche verwiesen. Bezüglich der übrigen Aktivatoren seien einige Tabellen mitgeteilt.

Tabelle 12.

Tartronsäure, Äpfelsäure, inaktive Äpfelsäure und Oxyglutarsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 2mal mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Tartronsäure		0·4			
l-Äpfelsäure			0·4		
i-Äpfelsäure				0·4	
Oxyglutarsäure					0·4
Im Thermostat 11:45					
Ablesung 12:	—	—	+ +	+ +	+ +
12:30	—	+	+ + +	+ + +	+ + +
1:5	+ +	+ + +			

Ein sehr überraschendes Verhalten zeigten die verschiedenen Formen der Weinsäure. Das Dihydroxylderivat der Bernsteinsäure kann, wie bekannt, mit drei verschiedenen Konfigurationen auftreten, die folgendermaßen bezeichnet werden können:

```
        I.                II.                III.
       COOH              COOH               COOH
   H—|—OH            HO—|—H             HO—|—H
  HO—|—H              H—|—OH            HO—|—H
       COOH              COOH               COOH
```

Von diesen sind die beiden ersten optisch aktiv, die erstere die gewöhnliche, rechtsdrehende Weinsäure, die andere die Linksweinsäure repräsentierend. Die dritte Form ist durch intramolekulare Kompensation inaktiv (wenn wir nur an nicht dissoziierende Lösungsmittel denken). In dissoziierenden Lösungsmitteln entstehen optisch aktive Ionen, die

indessen durch extramolekulare Kompensation bedingen, daß die Lösung optisch inaktiv wird.[1] Diese dritte, durch intramolekulare Kompensation inaktive Form wird bekanntlich Mesoweinsäure oder Antiweinsäure genannt. Schließlich können ja die Formen 1 und 2 sich zu einer inaktiven Modifikation verbinden, die in Lösung als eine kompensierende Mischung von Rechtsweinsäure und Linksweinsäure angesehen werden kann.

Von diesen Säuren dürfte der bisherigen Auffassung gemäß die Rechtsweinsäure die einzige in der Natur primär vorkommende sein. Unter Einwirkung gewisser Faktoren, z. B. einer kräftigen Erwärmung, erfährt sie indessen Racemisierung und führt zur Entstehung von Traubensäure, die dann so gespalten werden kann, daß Linksweinsäure erhalten wird. Aus der Rechtsweinsäure kann auch die Mesoweinsäure durch gewisse Eingriffe, z. B. Kochen mit Kalilauge, gewonnen werden.

Als diese Säuren rücksichtlich ihres Vermögens, als Aktivatoren bezüglich des Entfärbungsvermögens der Muskulatur zu dienen, untersucht wurden, zeigte es sich nun, daß, während die Rechtsweinsäure als ganz inaktiv befunden wurde, sowohl die Linksweinsäure als auch die Mesoweinsäure und, wie unter solchen Verhältnissen natürlich war, auch die Traubensäure ein ausgesprochenes Entfärbungsvermögen besaßen.

Das Resultat war derart überraschend, daß es nahe lag, an Verunreinigungen, Präparatverwechslungen oder dergleichen zu denken. Das zuerst untersuchte Präparat Rechtsweinsäure wurde durch ein Präparat Seignettesalz des gewöhnlichen Apothekenhandels ersetzt, aber dieses zeigte sich gleichermaßen inaktiv. Kahlbaums Linksweinsäure wurde durch ein von Schuchardt herrührendes Präparat ersetzt, das eine ebenso kräftige aktivierende Wirkung aufwies. Die Mesoweinsäure, die in einem von Professor Holmberg synthetisierten Präparat zur Verfügung stand, hatte ich dagegen nicht Gelegenheit, des weiteren zu prüfen. Im Hinblick auf die Darstellungsweise der Präparate ist es nicht leicht, sich zu denken, was diese aktivierende Wirkung z. B. bei der Linksweinsäure bedingen könnte, wenn es nicht die Säure selbst ist. Die aktivierende Wirkung ist außerdem so stark ausgesprochen, daß die Verunreinigung, wenn nun eine solche den Effekt bedingte, recht wesentlich sein mußte. Dagegen sprach jedoch die schön kristallinische Art der Kahlbaumschen Linksweinsäure wie auch des Mesoweinsäurepräparats. Das Schuchardtsche Linksweinsäurepräparat war indessen in dieser Hinsicht nicht so schön.

---

[1] Siehe darüber Meyer u. Jacobson. 2. Auflage. Bd. I. 2. S. 663.

Es bleibt also nichts anderes übrig als aus diesen Versuchen, die übrigens in verschiedener Weise wiederholt worden sind, den Schluß zu ziehen, daß wir in der Froschmuskulatur Dehydrogenasen besitzen, die auf Linksweinsäure und Mesoweinsäure, nicht aber auf Rechtsweinsäure eingestellt sind. Und es liegt dann auch nahe anzunehmen, daß diese Substanzen als Glieder in den intermediären Stoffwechsel eingehen. Denn es besteht durchaus kein Anlaß anzunehmen, daß Linksweinsäure und Mesoweinsäuren in der normalen Nahrung des Frosches enthalten wären. Und es wäre merkwürdig, wenn es sich hier um einen reinen Zufall handelte, der also ein Enzym mit einer so spezifischen Wirkung geschaffen haben sollte.

Tabelle 13.

Rechtsweinsäure, Linksweinsäure, Traubensäure in 0·1-molaren, neutralisierten Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung. Wasser bis 1 ccm.

Froschmuskulatur, inaktiviert durch 2maliges Schütteln mit der 20fachen Menge dest. Wassers, jedesmal 15 Minuten lang.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Rechtsweinsäure		0·2	0·4				
Linksweinsäure				0·2	0·4		
Traubensäure						0·2	0·4
Im Thermostat 12:10							
Ablesung 12:45	—	—	—	+ +	+ +	+ +	+ +
1:0	—	—	—	+ +	+ +	+ +	+ +
1:45	—	—	—	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
2:30	—	—	—				

Tabelle 14.

Mesoweinsäure, 0·1-molare, neutralisierte Lösung. Sonst wie oben.

Röhre:	1	2	3
Methylenblau	0·1	0·1	0·1
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2
Mesoweinsäure		0·2	0·4
Wasser	0·7	0·5	0·3
Im Thermostat 12:30			
Ablesung 12:45	—	+	+
1:0	—	+ +	+ +
1:45	—	+ + +	+ + +

Was die Frage nach den Substanzen betrifft, die aus den Hydroxylderivaten der zwei- und mehrbasischen Säuren entstehen können, wenn sie als Wasserstoffdonatoren fungieren, so sei zunächst hervorgehoben, daß das Auftreten der Tartronsäure als Aktivator von einem besonderen Interesse deswegen ist, weil es zu der Schlußfolgerung zu zwingen scheint, daß die Dehydrogenasen nicht nur imstande sind, den Wasserstoff, der an Kohlenstoffatome gebunden ist, sondern auch den in die Hydroxylgruppe eingehenden Wasserstoff zu eliminieren. Prüft man den Atomenkomplex der Tartronsäure, so findet man leicht, daß wenigstens dessen Ionen Wasserstoff nicht in anderer Form abgeben können als so, daß zwei Wasserstoffatome abgegeben werden, wobei das eine Wasserstoffatom von dem mittleren Kohlenstoffatom der Kohlenstoffkette, das andere von der Hydroxylgruppe herstammt. Die dabei entstehende Verbindung ist Mesoxalsäure:

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH(OH) \\ | \\ COOH \end{array} - 2H = \begin{array}{l} COOH \\ | \\ CO \\ | \\ COOH \end{array}$$

Möglicherweise könnte man sich denken, daß unter der Einwirkung eines kohlensäureabspaltenden Ferments zuerst eine Carboxylgruppe abgetrennt würde, wobei Glykolsäure entstehen müßte:

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ CH(OH) \\ | \\ COOH \end{array} - CO_2 = \begin{array}{l} CH_2(OH) \\ | \\ COOH \end{array}$$

Da aber die Glykolsäure sich kaum als fähig erwiesen hat, als Aktivator zu fungieren, kommt diese Möglichkeit nicht gut in Betracht. Hierzu kommt, daß direkte Versuche mit Tartronsäure, ausgeführt auf ganz dieselbe Weise wie die von mir früher veröffentlichten Versuche über die Einwirkung einer großen Anzahl organischer Säuren auf den Gasaustausch der überlebenden Froschmuskulatur, keine Tendenz bei der Tartronsäure nachweisen konnten, den respiratorischen Koeffizienten zu steigern.

Versuche mit meinem Mikrorespirometer über die Einwirkung der Tartronsäure auf Froschmuskulatur.

Die Versuche sind auf ganz dieselbe Weise angestellt wie die in meiner Abhandlung[1] veröffentlichten. Zur Erleichterung des Vergleichs mit diesen sind die Resultate auch wie dort aufgestellt. Die Tabelle, die

[1] *Dies Archiv.* 1910. Bd. XXIV. S. 23.

nachstehend mit a bezeichnet ist, gibt also in ihrer ersten horizontalen Reihe die Konzentration der angewandten Tartronsäurelösung (oder, genauer gesagt, der Tartronatlösung) in Millimol pro Liter Wasser wieder. Unter O_2 und CO_2 ist der Gasaustausch in cmm pro g für jede Stunde angegeben. Der Versuch dauerte 4 Stunden. Der gesamte Gasaustausch während der 4-Stundenperiode findet sich in der untersten horizontalen Reihe angegeben.

Tabelle 15a.

9		10		40		100		200	
O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2
70·6	66·8	61·3	54·5	43·4	52·1	38·2	40·7	37·4	37·4
68·7	68·7	63·2	60·1	52·7	54·6	43·7	39·4	37·4	34·6
72·5	74·3	61·3	62·6	48·4	50·2	41·3	38·8	33·1	30·2
63·0	66·8	59·5	59·5	45·9	45·9	38·8	33·9	31·7	28·8
274·8	276·6	245·3	236·7	190·4	202·8	162·0	152·8	139·6	131·0

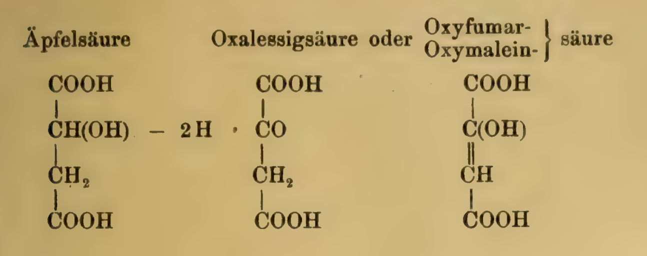
Tabelle 15b.

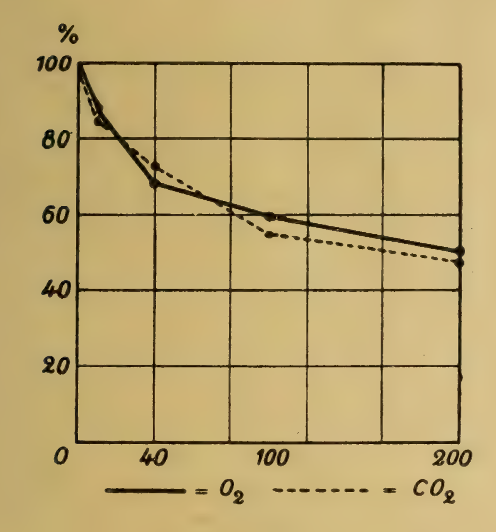
Konz.	O_2	Proz.	CO_2	Proz.
0	274·8	100·0	276·6	100·6
10	245·3	89·3	236·7	86·1
40	190·4	69·3	202·8	73·8
100	162·0	59·0	152·8	55·6
200	139·6	50·8	131·0	47·7

In dieser Tabelle sind die Werte der vorhergehenden Tabelle in der Weise zusammengefaßt, daß unter O_2 und CO_2 der Gasaustausch während der ganzen Versuchszeit noch einmal zusammengefaßt wird, worauf unter Proz. ausgerechnet ist, wie groß der Gasaustausch während der Versuche mit Tartronat im Verhältnis zu dem Gasaustausch in dem Kontrollversuch (Tartronatkonzentration 0) ist.

Nachstehend wird der besseren Übersicht wegen das Resultat auch in graphischer Form wiedergegeben.

Was das Umsetzungsprodukt der Äpfelsäure betrifft, so hat man je nach der Stelle, welche die Dehydrogenase angreift, zwischen Oxalessigsäure und Oxyfumarsäure bzw. Oxymaleinsäure zu wählen:





Das Endresultat dürfte in jedem Falle dasselbe sein, da einerseits die Oxalessigsäure, andererseits Oxyfumarsäure bzw. Oxymaleinsäure in dem Verhältnis von Keto- bzw. Enolverbindungen zueinander stehen. Eigentümlicherweise dürften trotz der „Erlenmeyerschen Regel" die Enolverbindungen den unvergleichlich überwiegenden Teil in dem System repräsentieren.[1]

Was ferner die Dehydrogenisierungsprodukte der Weinsäure anbelangt, so muß sie je nach dem Angriffspunkt der Dehydrogenisierung zu Oxy-Oxalessigsäure oder zu dem stereoisomeren Paare Dioxyfumarsäure-Dioxymaleinsäure führen. Da das genannte Paar sowie Oxy-Oxalessigsäure Keto- bzw. Enolformen zueinander bilden, dürfte ein Gleichgewichtszustand zwischen ihnen bestehen.

---

[1] Siehe Meyer-Jacobson. 2. Auflage. Bd. I. 1. S. 902 und Bd. I. 2. S. 1202.

```
Weinsäure          Oxy-Oxalessigsänre oder Dioxy<fumar-/malein-> säure

COOH                COOH               COOH
 |                   |                  |
CH(OH)              CO                 C(OH)
 |     — 2 H  --->   |                  ||
CH(OH)              CH(OH)             C(OH)
 |                   |                  |
COOH                COOH               COOH
```

Das angewandte Präparat der Oxyglutarsäure war die linksdrehende Form und war von Professor Holmberg synthetisiert worden. Betreffs des Präparates wurden folgende Auskünfte geliefert:

1-Oxyglutarsaures Natron.

Das Na-Salz dargestellt nach E. Fischer und A. Moreschi[1] aus d-Glutaminsäure. Analysiert nach Trocknen über H_2SO_4:

0·2357 g Salz gab 0·1723 g Na_2CO_4.

Na ber. 23·95 Proz. — gef. 23·71 Proz.

1·078 g in Wasser bis zu 25·0 cm in 2·2-dm-Röhre bei Zimmertemperatur, etwa 15°, $\alpha_{\Delta} = -0^{0}\,43'$, also $[\alpha]_{\Delta} = -7^{0}\cdot 6'$.

Das Resultat der Dehydrogenisierung dieser Oxyglutarsäure dürfte α-Ketoglutarsäure sein, sei es daß sie unmittefbar durch die Eliminierung zweier Wasserstoffatome von dem Kohlenstoffatom der Hydroxylgruppe entsteht, oder daß sie durch die Umlagerung der zuerst entstehenden Enolform in die entsprechende Ketoform zustande kommt:

```
COOH               COOH          COOH          COOH
 |                  |             |             |
CH(OH)  — 2 H -->  CO            C(OH)         CO
 |                  |             ||            |
CH2                CH2           CH            CH2
 |                  |             |             |
CH2                CH2           CH2           CH2
 |                  |             |             |
COOH               COOH          COOH          COOH.
```

Was schließlich die Zitronensäure betrifft, so ist es schwer zu sehen, daß eine einfache Dehydrogenisierung stattfinden kann. Man gelangt nämlich durch bloßes Eliminieren zweier Wasserstoffatome aus der Formel zu unmöglichen Produkten. Unter solchen Verhältnissen liegt

---

[1] *Ber.* 1912. Bd. XLV. S. 2447.

es am nächsten, sich zu denken, daß die Eliminierung zweier Wasserstoffatome unmittelbar von einem Eintreten von Wasser an der Eliminationsstelle begleitet ist, in welchem Falle man zu einer wohlbekannten Verbindung, nämlich der Oxyzitronensäure, gelangt. Eine fortgesetzte Dehydrogenisierung würde zu Dioxyzitronensäure, eventuell zu Ketosäuren, führen:

Zitronensäure		Oxyzitronensäure
COOH		COOH
|		|
CH_2		CH(OH)
|		|
C<OH, COOH	$- 2H + H_2O =$	C<OH, COOH
|		|
CH_2		CH_2
|		|
COOH		COOH

Ketonsäuren.

Von dieser Gruppe sind nur untersucht worden:

Pyrotraubensäure $CH_3 - CO - COOH$.

Lävulinsäure $CH_3 \cdot CO \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot COOH$.

Von diesen Säuren zeigt die Pyrotraubensäure eine sehr kräftige Entfärbung in dem System Muskelmasse—Methylenblau, während wenigstens keine deutlich hervortretende Wirkung bei der Lävulinsäure zu beobachten ist.

Zu bemerken ist indessen, daß das Brenztraubensäurepräparat selbst das Vermögen besaß, Methylenblau ohne Hilfe der Muskulatur zu entfärben. Auch nach Redestillation unter Vakuum trat dies Verhältnis hervor. Ob diese entfärbende Wirkung durch die Brenztraubensäure selbst oder durch Verunreinigungen oder Umsatzprodukte bewirkt wird, mag hingestellt werden. Wahrscheinlich sind die diesbezüglichen Verhältnisse sehr verwickelt. Das Methylenblau scheint nämlich in verschiedener Weise unter Einwirkung des Brenztraubensäurepräparates verändert zu werden. Teils wird dabei, wenigstens im Anfang, die Leukoverbindung gebildet, was dadurch bewiesen wird, daß bei Luftzutritt Methylenblau regeneriert wird. Teils wird das Methylenblau bei längerer Einwirkung irreversibel abgefärbt. Die Versuche mit Brenztraubensäure als Donatorsubstanz mögen unter solchen Verhältnissen hier nicht angeführt werden.

Aminosäuren.

Folgende Aminosäuren sind rücksichtlich ihres Vermögens, das Entfärbungsvermögen der Froschmuskulatur gegenüber Methylenblau zu aktivieren, untersucht worden:

Glykokoll,
+ Alanin,
Leucin,
Phenylalanin,
Histidin,
Serin,
Asparaginsäure, Asparagin,
+ Glutaminäure,
Oxyprolin,
α-Amino-δ-oxyvaleriansäure,
α-Aminoadipinsäure.

Von anderen untersuchten stickstoffhaltigen Verbindungen seien erwähnt:

Kreatin,
Kreatinin,
Guanidinhydrochlorid,
Taurin,
Harnstoff,
Glukosamin.

Die Präparate waren teils Kahlbaumsche, teils waren sie mir von Kollegen überlassen worden. Insbesondere hat Herr Professor Sörensen, am Carlsberger Laboratorium in Kopenhagen, eine große Anzahl seltener (teilweise noch nicht in diesen Bericht aufgenommener) Stoffe mir zur Verfügung gestellt.

Von diesen sämtlichen Stoffen hat sich nur einer als im Besitz eines kräftig hervortretenden Aktivierungsvermögens erwiesen, nämlich die Glutaminsäure.

Versuch 16.

Asparagin, 13 mg in 1 ccm Wasser gelöst.

Glutaminsäure, 15 mg, mit Kalilauge zu schwächster Rotfärbung durch Phenolphthalein neutralisiert, auf 1 ccm verdünnt.

Phenylalanin, 17 mg, in 1 ccm Wasser gelöst.
Methylenblau, 20 mP.
Phosphatmischung.
Froschmuskulatur, 2mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Asparagin		0·2	0·4				
Glutaminsäure				0·2	0·4		
Phenylalanin						0·2	0·4
Wasser	0·7	0·5	0·3	0·5	0·3	0·5	0·3
Im Thermostat 12:25							
Ablesung 12:50 . .	—	—	—	+ +	+ +	—	—
1:40 . .	—	—	—	+ + +	+ + +	—	—

Während also Asparagin und Phenylalanin keine Wirkung zeigen, tritt eine sehr deutliche Wirkung von Glutaminsäure schon nach 25 Min. hervor, und nach 75 Min. ist mit diesem Stoff als Aktivator vollständige Entfärbung erreicht.

Ein Stoff, der gleichfalls ein gewisses, bisweilen deutliches, bisweilen weniger deutliches Aktivierungsvermögen gezeigt hat, ist Alanin.

Versuch 17.

Alanin, 9 mg in 1 ccm Wasser gelöst.
Leucin, 23 mg, in 1 ccm Wasser gelöst.
Traubenzucker, 20 mg, in 1 ccm Wasser gelöst.
Methylenblau, 20 mP.
Froschmuskulatur, 3mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge dest. Wassers geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Alanin		0·2	0·4				
Leucin				0·2	0·4		
Traubenzucker						0·2	0·4
Wasser	0·9	0·7	0·5	0·7	0·5	0·7	0·5
Im Thermostat 5:5							
Ablesung 5:55 . .	—	—	—	—	—	—	—
7:40 . .	—	—	+	—	—	—	—
8:30 . .	—	+	+	—	—	—	—
9:0 . .	—	+	+ +	—	—	—	—

In diesem Versuche (der zum Unterschied von anderen nicht mit Zusatz von Phosphatmischung ausgeführt war) wurde also eine zwar spät auftretende, aber doch deutliche aktivierende Wirkung von Alanin erhalten. Erinnert sei daran, daß der Dissoziationskoeffizient des Alanins nur 9×10^{-10} ist, weshalb ein Reaktionsregulator nicht erforderlich war.[1]

Die Sonderstellung der Glutaminsäure, aber auch des Alanins, unter den Aminosäuren gewinnt ein erhöhtes Interesse, wenn sie mit Mickos Untersuchungen über das Vorkommen von Monoaminosäuren in Fleischextrakt[2] zusammengehalten wird. Während Micko nicht im Fleischextrakt Glykokoll, Prolin, Valin, Leucin, Phenylalanin oder Asparaginsäure, also die Serie Monoaminosäuren, die im allgemeinen bei Hydrolyse von Eiweißstoffen erhalten werden, nachweisen konnte, fand er auf 100 Teile Fleischextrakt 0·23 Alanin und 0·08 Glutaminsäure (von der Aminosulfosäure Taurin fand er 0·20 Teile und von Inosit 0·36). Micko erörtert die Frage, ob Alanin und Glutaminsäure als Produkte einer Hydrolyse in dem ursprünglichen Fleischextrakt vorhandener Eiweißstoffe angesehen werden können, lehnt aber diese Deutung ab, weil dann auch andere Monoaminosäuren hätten entstehen müssen. Insbesondere hätte man Glykokoll finden müssen, das nach ihm in der größten Menge bei Hydrolyse der Albumosen des Fleischextraktes auftritt.

Das Vermögen der Glutaminsäure, als Donatorsubstanz bei der Dehydrogenisierung des Methylenblaus zu dienen, führt zu der Frage, in welchem Verhältnis die Dehydrogenasen zu der Desaminierung der Aminosäuren stehen.

Die Frage der Desaminierung der Aminosäuren ist zwar ein energisch und erfolgreich behandeltes Kapitel. Doch sind noch viele Probleme auf diesem Gebiet unaufgeklärt.[3] Nicht ausgeschlossen ist, daß die Aminosäuren auf verschiedene Weise desaminiert werden können, aus Knoops und Neubauers Untersuchungen geht aber ziemlich deutlich hervor, daß die oxydative Desaminierung mit Bildung von Ketosäuren eine wichtige Rolle spielt. Wie der nähere Verlauf dabei zu denken ist, ist

---

[1] Siehe Landolt-Börnsteins *Tabellen*. 4. Auflage. S. 1135.

[2] K. Micko, Über das Vorkommen von Monoaminosäuren im Fleischextrakt. *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 1908. Bd. LVI. S. 180.

[3] Eine gute Darstellung dieses Kapitels findet sich in Dakin, Oxidations and reductions in the animal body. *Monographs on Biochemistry*. London 1912. Zur Frage der „Desaminasen" siehe Abderhalden, *Physiol. Chemie*. 1914. Bd. I. S. 582; siehe auch v. Fürth, *Probleme d. physiol. u. pathol. Chemie*. Bd. II. S. 461ff.

sehr unklar. Neubauer und Fromherz[1] haben nun wenigstens für einen bestimmten Fall nachgewiesen, daß man sich die oxydative Desaminierung nicht so denken darf, daß die NH_3-Abspaltung der zuerst einsetzende Prozeß ist, sondern daß die Oxydierung zuerst einsetzen muß. Sie sehen sich daher veranlaßt, die Entstehung in erster Linie einer Iminosäure oder des Hydrats derselben anzunehmen, aus welcher bzw. welchem dann Ammoniak abgespalten wird. Und auch Knoop[2] hat auf die Möglichkeit der Entstehung derartiger Substanzen bei dem oxydativen Abbau der Aminosäuren aufmerksam gemacht.

Es ist nun interessant, daß eben durch die Eliminierung zweier Wasserstoffatome aus einer Aminosäure eine Iminosäure entsteht, weshalb es nicht ausgeschlossen ist, daß wenigstens das erste Stadium der von Neubauer vermuteten Umsetzung der Aminosäuren auf dem Eingreifen einer Dehydrogenase beruht:

$$\underset{\text{Aminosäure}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\C\begin{matrix}<H\\<NH_2\end{matrix}\\|\\R\end{array}} \quad - 2H \quad \underset{\text{Iminosäure}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\C=NH\\|\\R\end{array}}$$

Die Elimination der beiden Wasserstoffatome soll indessen nach Neubauer und Fromherz vermutlich unter gleichzeitiger Aufnahme von Wasser, mit Bildung des Hydrats der Iminosäure, geschehen, und aus dieser in freier Form nicht bekannten, vermutlich sehr labilen Substanz sollen unter Zerfall teils Ammoniak, teils die entsprechende Ketonsäure entstehen (es ist Dakin, nicht Neubauer und Fromherz, der die Eigenschaften des Iminosäurehydrats hervorhebt).

$$\text{I.}\quad \underset{\text{Aminosäure}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\C\begin{matrix}<H\\<NH_2\end{matrix}\\|\\R\end{array}} - 2H + H_2O = \underset{\text{Iminosäurehydrat}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\C\begin{matrix}<OH\\<NH_2\end{matrix}\\|\\R\end{array}}$$

$$\text{II.}\quad \underset{\text{Iminosäurehydrat}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\C\begin{matrix}<OH\\<NH_2\end{matrix}\\|\\R\end{array}} = \underset{\text{Ketonsäure}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\CO + NH_3\\|\\R\end{array}}$$

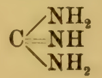
[1] O. Neubauer u. K. Fromherz, Über den Abbau der Aminsäuren bei der Hefegärung. Hoppe-Seylers *Zeitschr.* 1910/11. Bd. LXX. S. 338.

[2] Hoppe-Seylers *Zeitschrift*. 1910. Bd. LXVII. S. 498.

Was also das Resultat der Dehydrogenisierung der Glutaminsäure betrifft, so sollte es nach diesem Schema zur Entstehung einer Ketoglutarsäure führen. Und das Resultat desselben Prozesses, was diese Säure betrifft, wäre dann Bernsteinsäure.

Gleichwie so viele andere Substanzen, die diese Untersuchungen in das hier vorliegende Interessengebiet gezogen haben, hat auch die Ketoglutarsäure (in ihren verschiedenen Formen) bisher nicht beschafft werden können.

Sollte diese Deutung richtig sein so hätten wir hier eine Dehydrogenase kennen gelernt, die auf an ein Stickstoffatom gebundenen Wasserstoff eingestellt ist. Weitere Untersuchungen dürften indessen vonnöten sein, um diese Frage zu entscheiden. Bisher ist noch keine wasserstoffabgebende Substanz entdeckt worden, deren molekularer Bau zu der Annahme gezwungen hätte, daß die Dehydrogenase sich in den Besitz an Stickstoff gebundenen Wasserstoffs setzen kann. So zeigte Guanidin keine Aktivierungstendenz gegenüber dem Entfärkungsvermögen der Froschmuskulatur im Verhältnis zu Methylenblau



Ein Blick auf die Konfiguration zeigt, daß hier nur an Stickstoff gebundene Wasserstoffatome zugänglich sind.

Die Methylenblauentfärbungsmethode als Hilfsmittel für das Studium der Zwischenprodukte beim Stoffwechsel.

Wie in der Einleitung dieser Abhandlung erwähnt worden, sind die im vorhergehenden mitgeteilten Untersuchungen dem Wunsche entsprungen, eine bequeme Methode für die Erforschung derjenigen Substanzen zu schaffen, die die Rolle von Zwischenstadien beim Stoffwechsel spielen. Zur Vermeidung von Mißverständnissen dürfte es indessen am Platze sein, die Bedeutung der Methode näher zu präzisieren und abzugrenzen.

Was die Methode zunächst gewährt, ist Kenntnis von denjenigen Stoffen, die als Aktivatoren des verlorenen Vermögens einer Organmasse, Methylenblau zu entfärben, dienen können, den Stoffen also, die unter der Einwirkung der „Hydrogenotransportasen" dieser Organmasse Wasserstoff abgeben können. Die fraglichen Stoffe müssen demnach, um als Aktivatoren dienen zu können, in eine bestimmte Reaktion mit

intrazellulären Enzymen treten können. Die Methode stellt somit ein bequemes und ein sehr empfindliches Hilfsmittel dar, Stoffe nachzuweisen, die in diese Reaktion mit der Zellmasse treten können.

Ebensowenig wie andere „Ausprobier- oder Aufsuchungsmethoden" ist diese Methode eine direkte Methode zum Nachweis derjenigen Stoffe, die eine Rolle als Zwischenglied in der Reaktionskette des Stoffwechsels spielen. Und es ist natürlich nicht erlaubt, den Schluß zu ziehen, daß jeder Stoff, der das verlorene Entfärbungsvermögen der Organmasse aktiviert, ein Zwischenprodukt beim Stoffwechsel sei. Sondern die Stoffe, die im Besitz eines Aktivierungsvermögens angetroffen werden, müssen einer weiteren Prüfung unterzogen werden, um zu entscheiden, inwiefern sie eine solche Rolle als Zwischensubstanzen spielen können.

Einige Anhaltspunkte bei dieser Prüfung seien hier mitgeteilt:

Zunächst dürfte große Bedeutung der Intensität beizumessen sein, mit welcher ein Stoff als Aktivator auftritt. Die Intensität, mit der ein Stoff wie Bernsteinsäure als Aktivator auftritt, bedeutet ja, daß es in der Organmasse ein Ferment gibt, das eine für die allgemeine Chemie so rätselhafte Reaktion wie die Umwandlung der Bernsteinsäure in Fumarsäure bewirken, und zwar mit beträchtlicher Energie bewirken kann, und die allgemeine Zweckmäßigkeit der Lebensprozesse macht die Schlußfolgerung sehr wahrscheinlich, daß wir es hier mit einem von den Zellen des Organismus ständig ausgeübten Vermögen zu tun haben, was wiederum in sich schließt, daß Bernsteinsäure permanent von den Zellen dehydrogenisiert wird.

Ferner muß großes Gewicht einer Prüfung beigelegt werden, ob die als Aktivator auftretende Substanz bei ihrer Umsetzung zur Entstehung von Substanzen führt, die ihrerseits sich dann als von den chemischen Werkzeugen der Zelle beeinflußbar erweisen.

Was z. B. die Bernsteinsäure betrifft, so führt sie zur Bildung von Fumarsäure, die ihrerseits sich als ein kräftiger Aktivator erweist. Doch dürfte man nicht berechtigt sein zu fordern, daß man lediglich durch fortgesetzte Dehydrogenisierung bis zu Wasser und Kohlensäure herunter gelangen soll, wenigstens nicht in allen Fällen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß gewisse andere Prozesse eingeschaltet werden müssen, damit ein Stoff aufs neue dem abbauenden Einfluß der Dehydrogenisierung zugänglich werden soll. Insbesondere hat man an eine Hydrierung im Sinne einer Wasseraddition zu denken, wodurch also 2 Wasserstoffatome und 1 Sauerstoffatom in das Molekül eingeführt werden.

Wenn dann die zugeführten Wasserstoffatome durch Dehydrogenisierung weggeschafft werden, wird natürlich ein Produkt gebildet, das relativ sauerstoffreicher und demnach der vollständigen Oxydation näher geführt worden ist. — In anderen Fällen wiederum hat man an eine wirkliche Oxydation als eingeschaltetes Glied der Verbrennung der Körper zu denken. Und es dürfte aller Anlaß bestehen, zu untersuchen, ob man nicht eine Reaktionskette, die nicht weiter durch Dehydrogenisierung fortgesetzt werden kann, dadurch verlängern kann, daß man eine Zeitlang das System der Einwirkung von Sauerstoffgas aussetzt, und es dann aufs neue auf sein Vermögen, Methylenblau zu entfärben, prüft. Es sei indessen sogleich betont, daß es an sehr wenig Punkten notwendig ist, aus theoretischen Gründen ein derartiges Zwischenglied einer Oxydation im ursprünglichsten Sinne des Wortes, also eine Einwirkung von Sauerstoff ohne jedes andere eingeschaltete Zwischenglied, zu postalieren. Doch ist es schwer zu verstehen, wie der Organismus einen Stoff wie Oxalsaure ohne direkte Oxydierung sollte umsetzen können, wenn man nicht wenigstens annehmen will, daß die Dehydrogenasen auch die Wasserstoffatome der Carboxylgruppen angreifen können.

Bei der Bedeutung, die eine Verfolgung der Reaktionsketten für die Klarstellung davon hat, ob eine aktivierende Substanz als ein normales Zwischenprodukt aufzufassen ist, gehört es zu den nächsten Arbeitsaufgaben bei der Fortsetzung dieser Untersuchungen, diejenigen Stoffe zu beschaffen, die die hypothetischen Produkte der bisher durchgeführten Dehydrogenisierungen darstellen.

Was z. B. einen solchen Stoff wie Glutaminsäure betrifft, so ist oben angenommen worden, daß durch die Dehydrogenisierung Ketoglutarsäure gebildet wird. Es liegt aller Anlaß vor, zu untersuchen, ob Ketoglutarsäure als ein Aktivator fungieren kann, in welchem Falle man berechtigt ist zu erwarten, daß der fragliche Stoff in Bernsteinsäure umgesetzt wird.

Natürlich wird es sich empfehlen, an diese Untersuchungen direkte Analysen der gebildeten Untersuchungsprodukte anzuknüpfen.

Die oben mitgeteilten Tabellen über die Wirkung verschiedener Stoffe als Aktivatoren auf die Methylenblauentfärbung sind mit einem bedeutenden Überschuß der Aktivatoren im Verhältnis zu der Methylenblaumenge ausgeführt. Der Umstand hat seine Bedeutung, wenn es gilt, auch die geringste Andeutung einer aktivierenden Wirkung zu erfassen. In Übereinstimmung mit der allgemeinsten Regel der Reaktionsgeschwindigkeit muß man nämlich mittels gesteigerter Konzentration der mit-

einander reagierenden Stoffe die Reaktion beschleunigen und demnach innerhalb der für die Probe verfügbaren Zeit leichter eine Reaktion nachweisen können, wenn die Konzentrationen hoch gewählt werden. Was die drei an der Reaktion teilnehmenden Stoffe, das Enzym, den Farbstoff und den Wasserstoffdonator betrifft, so kann man den Enzymgehalt wenig über den in diesen Untersuchungen angewandten hinaus steigern. Nach dem, was man von den fraglichen Enzymen bisher weiß, sind sie an die Zellmasse geknüpft, und wenn man mit Proben von nur 1 ccm arbeitet, kann man die zugesetzte Menge Muskelmasse wenig über die 0·2 g, die bereits zur Anwendung gekommen, hinaus steigern. Wie in einigen später mitgeteilten Muskelversuchen kann man jedoch die Proben auch mit 0·4 g Muskelmasse ausführen, ohne deshalb Gefahr zu laufen, daß die Muskulatur nicht von der Flüssigkeit umgeben wird. Ja, wie die Erfahrung bei diesen Versuchen zeigte, ist man bei dieser Muskelmenge dessen sicherer, daß die ganze Flüssigkeitsmenge gleichzeitig von den Muskelfermenten beeinflußt wird.

Was den Farbstoff betrifft, so ist die Reaktion nicht so leicht zu beobachten, wenn er in allzu starker Konzentration zugesetzt wird, auch wenn man voraussetzen darf, daß in der Zeiteinheit etwas mehr Farbstoff bei höherer Farbstoffkonzentration umgesetzt wird.

Dagegen ist es angängig gewesen, die Aktivatormenge auf einen ziemlich hohen Wert im Verhältnis zu den molaren Werten zu steigern, die die beiden anderen Faktoren, der Enzymgehalt und der Farbstoffgehalt, wahrscheinlich bzw. sicher repräsentieren.

Die relative Konzentration, in welcher die Aktivatoren bei diesen Untersuchungen angewandt worden sind, bringt indessen auch gewisse Übelstände mit sich. Zunächst setzt man sich der Gefahr aus, daß Verunreinigungen bei den angewandten Substanzen eine Rolle spielen und die Resultate unsicher machen können. Je größer die absolute Konzentration ist, in der die hinzugesetzte Aktivatorsubstanz zur Verwendung kommt, um so mehr wird es auch einer prozentuell vielleicht unbedeutenden Verunreinigung möglich, sich geltend zu machen. Bei einer ersten orientierenden Untersuchung wie der vorliegenden kann man indessen nicht allzu minutiös die angewandten Substanzen rücksichtlich etwaiger Verunreinigungen prüfen, sondern es dürfte als genügend erachtet werden, gewöhnliche Standardpräparate anzuwenden und im Laufe der Untersuchung alle die Umstände zu beachten, die zu dem Verdacht veranlassen können, daß Verunreinigungen sich eingeschlichen und die Resultate entstellt haben.

Ein anderer Umstand, der auch als ein mit der Anwendung der Aktivatorsubstanz in starken Konzentrationen verbundener Übelstand angesehen werden kann, ist der, daß die quantitative Differenz in der Wirkungsintensität verschiedener Aktivatoren weniger hervortritt. Einige Vorversuche deuten bestimmt darauf hin, daß man ziemlich weit unter die Konzentration, in welcher die stärksten Aktivatoren angewandt worden, heruntergehen kann, ohne deshalb die Geschwindigkeit herabzusetzen, mit welcher die Entfärkung eintritt. Fährt man dagegen auf dieselbe Weise mit den schwächsten Aktivatoren fort, so sinken sie leicht unter die Wirkungsschwelle. Dieser Umstand weist auf die Erwünschtheit einer Fortsetzung dieser Versuche mit systematischer Variation der zugesetzten Mengen Aktivator hin, um die Schwellenwerte für die Entfärbung einer bestimmten Farbstoffmenge in einer bestimmten Zeit festzustellen. Auf diese Weise könnte man möglicherweise auch zu einem aus verschiedenen Gesichtspunkten sehr erwünschten mathematischen Ausdruck für die Wirkungsintensität jedes einzelnen Aktivators, zu einem Aktivatorkoeffizienten, gelangen.

Fragt man sich jedoch auf dem Stadium, den diese Untersuchungen bereits erreicht haben, inwiefern Anlaß vorliegt, aus ihren Resultaten auf Zwischenglieder bei dem intermediären Stoffwechsel zu schließen, so ist die Antwort folgende:

Daß die Milchsäure ein Glied des intermediären Stoffwechsels ist, ist eine so wohlgegründete Annahme, daß der weitere Grund, den diese Untersuchungen dafür liefern, keine Rolle spielt, zumal da ja die Untersuchung mit einem Milchsäurepräparat angestellt ist, das nicht nur Rechtsmilchsäure (Fleischmilchsäure), sondern auch Linksmilchsäure enthält. Eher kann in dem positiven Resultat dieser Methode in dieser Hinsicht eine Bestätigung des Vermögens der Methode erblickt werden, die Glieder der intermediären Stoffwechselkette aufzuzeigen. Denselben Gesichtspunkt dürfte man übrigens Anlaß haben, an den positiven Ausfall für die β-Oxybuttersäure anzulegen, die ja indessen auch in der inaktiven Mischung untersucht worden ist, da die linksdrehende nicht zur Verfügung stand. Sehr beachtenswert ist der kräftige positive Ausfall für α-Oxybuttersäure. Er weist entschieden auf die Erwünschtheit hin, mittels anderer Methoden zu untersuchen, ob nicht die α-Oxybuttersäure ein Zwischenglied des Stoffwechsels ist, gleich wichtig wie die β-Säure. Möglicherweise ist das Auftreten der β-Säure unter gewissen pathologischen oder nicht völlig normalen Verhältnissen (z. B. Kohlehydrathunger) als ein Zeichen dafür aufzufassen, daß diese Säure schwerer

umsetzbar ist als die α-Säure. Natürlich hat man auch an die Möglichkeit eines Enzyms zu denken, das weniger spezifisch ist, so daß seine Einstellung z. B. auf die β-Säure auch ein Reaktionsvermögen gegenüber der α-Säure nach sich zieht.

Daß die Methode die Bernsteinsäure, Fumarsäure, Äpfelsäure und Zitronensäure als Glieder des Stoffwechsels ausweist, kann sowohl als eine Stütze für die von mir bereits früher ausgesprochene Auffassung in dieser Hinsicht wie auch umgekehrt als ein Beweis für die Anwendbarkeit der Methode als Wünschelrute beim Suchen nach etwaigen Zwischengliedern betrachtet werden.

Sehr eigentümlich ist das Verhalten der Maleinsäure. Meine mikrorespirometrischen Untersuchungen ergaben als Resultat eine absolute Sonderstellung der Maleinsäure. Keine andere Säure konnte auch nur annähernd sich mit dieser Säure bezüglich deletärer Wirkung auf den Gasaustausch messen. Diese Wirkung trat bereits bei der großen Verdünnung von 0·1 Millimol auf 1 Liter Wasser auf. Bei der Prüfung dieser Säure mittels der Entfärbungsmethode sieht man nichts hiervon. Sie erweist sich, weit davon entfernt, einen hemmenden Einfluß auf die Entfärbung auszuüben, statt dessen als ein nicht verächtlicher Aktivator. Will man versuchen, eine Übereinstimmung zwischen dem Ausfall der mikrorespirometrischen und dem der Entfärbungsmethode zuwegezubringen, so könnte es ja vielleicht durch die Annahme geschehen, daß Maleinsäure zwar ein Zwischenglied ist, aber ein solches, das, wenn es nicht unter normalen Verhältnissen, in der rechten Proportion zusammen mit anderen „Zwischensubstanzen" auftritt, den ganzen Verlauf derangiert. Wagt man eine „falsche Analogie" anzuwenden, so könnte man solchenfalls die Wirkung der Maleinsäure mit der Wirkung vergleichen, die ein von seinem Platze gerissenes Rad in einem Uhrwerk zustande bringen kann. — Wenn nicht anders, kann eine solche Auffassung zu einer Untersuchung darüber Anlaß geben, ob die „Giftwirkung" der Maleinsäure auf den respiratorischen Gasaustausch durch die Anwesenheit anderer Substanzen neutralisiert werden kann.

Zu den überraschendsten Resultaten der Entfärbungsmethode gehört es, wie sie, unter Streichung der Rechtsweinsäure, auf die Linksweinsäure und die Mesoweinsäure als „Zwischensubstanzen" hinweist. Daß die Traubensäure gleichfalls als ein kräftiger Aktivator wirkt, muß natürlich den 50 Proz. Linksweinsäure, die in dieselbe eingehen, zugeschrieben werden.

Auch die α-Oxyglutarsäure erhält natürlich durch diese Untersuchungen einen anderen Platz im Gesichtsfelde als zuvor.

Betreffs der Glutaminsäure kann man ja nicht direkt behaupten, daß sie bisher als Stoffwechselprodukt vernachlässigt worden ist. Sie hat jedoch bisher in derselben Reihe wie die übrigen Aminosäuren gestanden. Sofern die Teilnahme an dem intermediären Stoffwechsel entscheidend ist, scheint sie nunmehr einen Platz vor denselben zu verdienen. Bis zu einem gewissen Grade gilt dies auch von dem Alanin.

Betreffs der Pyrotraubensäure, die ja insbesondere durch Neubergs Untersuchungen in letzterer Zeit so große Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, gilt in den zutreffenden Teilen, was oben von Milchsäure und β-Oxybuttersäure gesagt worden ist.

Das Vermögen der Muskelmasse, mit gewissen Fettsäuren zu reagieren, wie dasselbe durch die Entfärbungsmethode klargestellt worden, ist ja nicht so energisch wie gegenüber den obengenannten Säuren. Und überhaupt scheint die Methode rücksichtlich dieser Säuren von Interesse hauptsächlich dadurch zu sein, daß sie imstande ist, diese wenig energischen Reaktionen nachzuweisen, sowie dadurch, wie sie dabei gewisse Substanzen auszeichnet und andere überspringt. In seiner Weise spricht indessen dies auch dafür, daß die durch die Methode ausgezeichneten eine größere Rolle im Zelleben spielen, als die „übersprungenen" es tun.

Zur Frage der Spezifizität der Dehydrogenasen.

Mit größter Wahrscheinlichkeit sind die Entfärbungsprozesse, die im vorhergehenden studiert worden sind, enzymatischer Natur.

Zunächst ist es klar, daß sie nur unter Mitwirkung in den Zellen befindlicher Stoffe zustande kommen. Keine Entfärbung wird nämlich erhalten, wenn man das neutrale Salz einer der im vorhergehenden angewandten Säuren mit Methylenblau zusammenmischt. Erst wenn Organmasse hinzugesetzt wird, tritt, wenn die im vorhergehenden beschriebenen Konstellationen vorliegen, Entfärbung ein. Und wie aus Kontrollversuchen hervorgegangen ist, beruht dies nicht darauf, daß die Organmasse allein in der ausgelaugten Form, in der sie angewandt wird, das entsprechende Entfärbungsvermögen besitzt. Sondern die Entfärbung ist von der Anwesenheit eines an die Zellsubstanz gebundenen Faktors nebst einer Donatorsubstanz und einer Akzeptorsubstanz abhängig. Die Reaktion ist gebunden an das, was wir ein chemisches

Dreikörpersystem nennen möchten, und zwar, genauer präzisiert, ein katalytisches Dreikörpersystem.

Doch könnte man sich fragen, ob nicht die Annahme eines chemischen Dreikörpersystems eine Vereinfachung der Verhältnisse bedeutet. Man könnte sich sagen, möglicherweise sei für die Entfärbung die Anwesenheit von mehr Gliedern, als es durch diesen Namen präjudiziert wird, erforderlich. Vielleicht liegt hier ein chemisches Vierkörpersystem oder ein noch zusammengesetzteres System vor. Was wir indessen vor allem hier zur Diskussion aufstellen wollen, ist die Frage, ob möglicherweise der notwendige zellulare Faktor für das Zustandekommen der Entfärbung so komplizierter Art ist, daß er als in der normalen Struktur der Zelle bestehend angesehen werden kann.

Was die Zellstruktur indessen über ein einfacheres physikalisch-chemisches System hinaus zustande bringen kann, dürfte in einem harmonischen Verfauf der ineinander greifenden Glieder einer langen Reaktionskette sowie in einer Transformierung der chemischen Energie in andere Energieformen, z. B. mechanische Energie (über Oberflächenspannungsveränderungen oder Imbibitionsänderungen hin), elektrische Energie, osmotische Energie, bestehen. Dagegen liegt kein Grund zu der Annahme vor, daß eine einfache chemische Umsetzung zu ihrer Entstehung die Anwesenheit einer bestimmten zellularen Struktur verlangt. Gegen die Bedeutung der Zellstruktur für die Entstehung hier fraglicher Umsetzungen spricht auch ihr Auftreten trotz der deletären Einflüsse, welchen die Muskelmasse ausgesetzt worden ist. Das kräftige Feinschneiden hat die Muskelzellen (die ja bis zu cm-lang sind) eröffnet, und die Behandlung mit destilliertem Wasser kann auch als ein Moment angesehen werden, das auf das vielphasige System der Muskelzellen derangierend wirken muß.

Es besteht demnach aller Anlaß anzunehmen, daß wir es hier nicht mit einem vitalen Phänomen in dem Sinne, daß es zu seiner Entstehung die Wahrung der Zellstruktur verlangt, sondern mit einem vitalen Phänomen lediglich in dem Sinne zu tun haben, daß es an die Anwesenheit von durch die Tätigkeit der Zellen erzeugten Enzymen geknüpft ist.

Gehen wir also von der Auffassung aus, daß die Entfärbungsprozesse, die wir hier oben studiert haben, enzymatischer Natur sind, so erhebt sich die Frage, ob wir es hier mit einem allgemein wirkenden Enzym, oder ob wir es mit mehreren Enzymen, mit je seinem abgegrenzten Wirkungskreis, zu tun haben.

In einer Hinsicht kann hierauf ohne weiteres Antwort erteilt werden. Wie aus meinen früheren Untersuchungen[1] sich ergeben hat, ist die Succinodehydrogenase ein Ferment für sich, gekennzeichnet durch ihre große Resistenz, und daher leicht frei von anderen Dehydrogenasen zu erhalten. Die große Mehrzahl der Substanzen, bei denen es sich gezeigt hat, daß sie Muskelmasse von einem frischgetöteten Tiere zur Entfärbung von Methylenblau aktivieren können, hat keine aktivierende Wirkung auf die Succinodehydrogenase, wenn auch vielleicht die Versuche unter Anwendung der schärferen Methoden, zu denen die hier vorliegenden Untersuchungen geführt haben, wiederholt werden sollten.

Es ist nun klar, daß erst experimentelle Untersuchungen die Frage lösen können, ob die Dehydrogenasewirkung, die gegenüber anderen Substanzen als der Bernsteinsäure festgestellt worden ist, auf einem oder mehreren Enzymen beruht. Einige Gesichtspunkte dürften jedoch bereits hier angeführt werden können.

Wollte man ein einziges Enzym als das katalytische Agens bei der Dehydrogenisierung aller der Substanzen (außer Bernsteinsäure) annehmen, die die vorliegenden Untersuchungen als Donatorsubstanzen in bezug auf Wasserstoff enthüllt haben, so würde dies eine höchst eigenartige Willkür im Wirkungsvermögen dieses Enzyms voraussetzen. Einerseits hätten wir es mit einem Enzym von ziemlich allgemeiner Wirksamkeit zu tun, imstande so verschiedene Stoffe wie z. B. Buttersäure, Milchsäure und Fumarsäure zu dehydrogenisieren, andererseits aber so launisch in seiner Einstellung, daß es auf gewisse der Formen der Weinsäure eingestellt ist, während es die Rechtsweinsäure verschmäht. — Soweit man überhaupt einen aprioristischen Ausspruch wagen kann, wird dieser zugunsten einer pluralistischen Auffassung der Enzymwirkung eben auf Grund dieser für ein mehr allgemein wirkendes Enzym eigentümlichen Launenhaftigkeit ausfallen.

Als ein Grund für die Annahme einer Mehrheit von Enzymen kann auch angeführt werden, daß, wenn es dank der großen Resistenz der Succinodehydrogenase gelungen ist, dieses Enzym zu isolieren, es sich als im Besitz einer ausgesprochenen Spezifizität erwiesen hat. Und sofern es erlaubt ist, von dem Bekannten auf das Unbekannte zu schließen, ist man zu der Annahme berechtigt, daß auch die anderen in die undifferenzierte Enzymmasse eingehenden Enzyme von ziemlich ausgesprochener

---

[1] Thunberg, *Dies Archiv.* 1917. Bd. XXXV. S. 163.

Spezifizität sind. Natürlich bedeutet dies nicht, daß die Spezifizität absolut wäre. Schon für die Succinodehydrogenase habe ich[1] angegeben, daß Methylbernsteinsäure eine schwache und langsame Entfärbung von Methylenblau bewirken zu können schien, wenn sie als Aktivator nebst der Succinodehydrogenase geprüft wurde.

Es ist daher nicht ausgeschlossen, daß eine Gruppe von Enzymen vorliegt, deren jedes vor allem auf ein bestimmtes intermediäres Stoffwechselprodukt oder möglicherweise eine sehr nahestehende Gruppe solcher eingestellt ist, vielleicht aber auch eine Wirkung gegenüber nahestehenden Stoffen ausübt.

Je größer die Wahrscheinlichkeit dafür ist, daß wir hier vor einer speziesreichen Gruppe von Enzymen stehen, um so aussichtsvoller erscheint es, an Versuche heranzugehen, sie zu differenzieren, die verschiedenen Enzymwirkungen voneinander zu isolieren. Gleichzeitig muß man sich ja auf Grund der Erfahrung von anderwärts her, wenn es die Identität oder Nichtidentität zweier zusammengekoppelter Enzymwirkungen festzustellen gilt, sagen, daß die Versuche recht zeitraubend und mühevoll werden können (Beispiel: die Pepsin-Labfrage). Andererseits aber dürfte die Frage wohl einer Behandlung wert sein. Wir stehen ja hier vor den so lange gesuchten Enzymen, die für den oxydativen Abbau der Nährstoffe seitens der Zelle sorgen.

Natürlich stehen eine große Anzahl Methoden zu Gebote, wenn es den Versuch gilt, die verschiedenen Enzyme zu differenzieren. Hier seien nur einige Beobachtungen über die differenzierende Einwirkung von Wärme und sehr niedriger Temperaturen mitgeteilt.

Versuche, die Enzyme durch die Einwirkung starker Kälte zu differenzieren.

Es könnte vielleicht aussichtslos erscheinen, eine Enzymmischung durch Anwendung starker Kälte differenzieren zu wollen. Die Ansicht ist ja allgemein üblich, daß starke Kälte in chemischer Hinsicht als ein zwar hemmendes Moment auf die Reaktionsgeschwindigkeit, nicht aber als ein schädigendes, ein destruktives Moment wirkt. Und in Übereinstimmung hiermit hat man sich ja auch nicht selten der Kälte bedient, um in unveränderter Form den für einen bestimmten Zeitpunkt charakteristischen chemischen Zustand zu fixieren. Diese Auffassung ist indessen nur annäherungsweise richtig. Handelt es sich um das heterogene Medium

[1] A. a. O., S. 167.

der Zellen, so stellt sich die Sache anders. Als nur eine scheinbare Ausnahme kann man freilich diejenigen Veränderungen der Vitalität eines Organs ansehen, die dadurch bedingt werden, daß eine niedrige Temperatur durch Eisbildung die Mikrostruktur der Zellen zerstört und auf diese Weise störend auf das harmonische Ineinandergreifen der vitalen Prozesse wirkt, das eben an die normale Wahrung der normalen Struktur gebunden sein dürfte.[1] Als eine mehr reale Ausnahme dürften dagegen die irreversiblen Wirkungen zu betrachten sein, die eine hochgradige Abkühlung bei gewissen Kolloiden hervorbringen zu können scheint. Eine Anzahl Beobachtungen liegen bezüglich dieses Punktes vor.

Ljubavin[2] fand, daß bei Gefrieren von Stärkekleister die Stärke zu großem Teil sich in Form von Flocken ausscheidet, eine Beobachtung, die bereits Payen gemacht haben soll. Dagegen fand Ljubavin bei Gefrieren von Hühnereiweiß, filtriert oder unfiltriert, sogar bei einer so niedrigen Temperatur wie —20°, keine koagulative Ausscheidung. Auch bei Mehl wurde keine Ausfällung bei Gefrieren und nachfolgendem Auftauen beobachtet.

Ambronn[3] untersuchte gleichfalls das Gefrieren organischer Kolloide (Hühnereiweiß, Dextrin, Gelatine, Agar-Agar), er stellte aber nicht reine Gefrierversuche an, sondern knüpfte an die Versuche auch eine Entfernung des herausgefrorenen Wassers an, weshalb er auf eine durch einfaches Gefrieren entstandene eventuelle irreversible Veränderung nicht acht gab.

Die bisher angeführten Versuche über die eventuelle Entstehung irreversibler Zustandsänderungen bei biologisch interessanten Kolloiden hatten also ein negatives Ergebnis. Zu positivem Resultat gelangten jedoch Bobertag, Feist und Fischer[4], aus deren kurzer Mitteilung

---

[1] Siehe hierüber Thunberg, Festskrift tillegnad Olof Hammarsten, *Mikrorespirometrische Untersuchungen.* III. Über die Einwirkung eines vorhergehenden Frierens auf den Gasaustausch des herauspräparierten Muskels.

[2] N. N. Ljubavin, Über das Gefrieren kolloidaler Lösungen. *Journ. d. russ. phys.-chem. Ges.* 1889. Bd. I. S. 397; hier zitiert nach *Kolloid-Zeitschr.* 1907. Bd. I. S. 53.

[3] H. Ambronn, Einige Beobachtungen über das Gefrieren der Kolloide. *Berichte Verhandl. d. königl. sächs. Ges. d. Wiss.*, Math.-phys. Klasse. 1891. Bd. XLIII. S. 28.

[4] O. Bobertag, K. Feist u. H. W. Fischer, Über das Ausfrieren von Hydrosolen. *Ber. Deutsch. Chem. Ges.* 1909. Bd. XLI. III. S. 3675.

folgendes zitiert sei: „Dauernde Veränderungen erleidet vielleicht schon eine Lösung von trocknem Eiweiß, aber noch nicht bei —10°, sondern erst bei — 70 bis — 180°, wobei, wie übrigens schon vorhin, die tiefere Temperatur stärker zu wirken scheint. Ein Teil der Trübung scheint nicht mehr zu verschwinden . . .“

Die Erklärung der Zustandsänderung ist nach diesen Autoren folgende: „Im allgemeinen wird beim Frieren ein Zusammendrängen, also eine Annäherung der Kolloidpartikeln aneinander stattfinden. Diese Annäherung kann beim Auftauen mehr oder weniger wieder zurückgehen, oder sie kann auch ganz bestehen bleiben. So wird je nach dem Charakter des Kolloides eine mehr oder weniger vollständige Lösung oder Ausfällung die Folge sein. Außerdem kann bei Kolloiden, die die Eigenschaft haben, viel Wasser aufzunehmen und Gallerten zu bilden, noch eine weitere Wirkung eintreten. Sie werden durch das Ausfrieren teilweise oder ganz entwässert werden. Nun ist bekanntlich der Zustand, den ein Kolloid unter bestimmten Bedingungen erreicht, nicht nur von diesen Bedingungen abhängig, sondern in hohem Grade von dem Weg, auf dem es dorthin gelangt ist. Da man nun die Gallerten durch Abkühlen heißer Sole erhält, so ist selbstverständlich nicht zu erwarten, daß man durch Auftauen einer gefrorenen Gallerte, also auf gerade umgekehrtem Wege, zu demselben Produkt kommt . . .“

Auf Grund einiger Gefrierversuche mit Kartoffelmehl sind Malfitano und Moschkoff[1] zu der Auffassung gekommen, daß bei der Zustandsänderung der ausgefrorenen Substanz das Verhältnis zu Elektrolyten eine Rolle spielt. Sie gefroren eine kolloidale Lösung von Kartoffelstärke, tauten sie auf, zentrifugierten oder filtrierten das dabei ausgefällte Koagulum ab und fanden dann bei Analyse, daß fast alle Asche in die Lösung ging. Sie lösten das Koagulum in heißem Wasser, gefroren aufs neue, schieden das Koagulum ab, wiederholten ihre Analysen und kamen so zu der Überzeugung, daß die Kartoffelstärke eigentlich unlöslich ist, daß sie aber imstande ist, kolloide Lösungen zusammen mit Elektrolyten zu bilden. Besonders Salze, aber auch Wasser kann beim Erwärmen der Stärke in Wasser die Ionen abgeben, die die Entstehung einer kolloiden Lösung verlangt. Einmal gebildet, hat die kolloide Lösung Bestand auf Grund der elektrischen Ladung der Teile. Wird die Lösung

---

[1] Comptes rend. 1910. Bd. CL. S. 710; zitiert nach *Kolloid-Zeitschr.* 1910. Bd. VII. S. 56.

Gefrieren unterworfen, so daß die „Mizellen“ zusammengezwungen werden, so verlieren sie auch den Zustand, der vorher sie voneinander getrennt gehalten hatte, und beim Auftauen kehren sie daher nicht wieder in ihren früheren kolloiden Zustand zurück.

Was die spezielle Frage betrifft, ob die Enzyme durch sehr niedrige Temperaturen beeinflussbar sind, so liegen bereits eine Anzahl Versuche darüber vor. So gibt d'Arsonval[1] an, daß niedrige Temperaturen bis zu —50° nicht auf Enzyme einwirken. Bei —100° soll jedoch Invertase unwirksam werden, nicht aber Hefe. Nachdem flüssige Luft durch die Lindesche Erfindung leicht zugänglich geworden, wurden von Pozerski[2] eine Anzahl Fermente, nämlich Lab, Speicheldiastase, Invertin, Amylase, Trypsin und Pepsin daraufhin untersucht, ob sie ihre Aktivität nach anderthalbstündigem Gefrieren in flüssiger Luft unverändert beibehielten. Er faßt seine Resultate folgendermaßen zusammen: „En somme, on voit que tous ces ferments ont la même action après le refroidissement vers — 191 degrés pendant quarante-cinq minutes, qu'avant d'avoir été portés à cette basse température“.

Zu negativem Resultat betreffs Pepsin gelangte Bickel[3], der gleichfalls flüssige Luft anwandte. — Auch in der Pflanzenphysiologie ist die Frage des Verhaltens der Enzyme nach Kälteeinwirkung zur Behandlung gekommen, in Zusammenhang mit der vielerörterten Frage, wie die Kälteempfindlichkeit der Pflanzen zu deuten sei, eine Frage, die sich als um so komplizierter erwiesen, je mehr man sich mit ihr beschäftigt hat (siehe z. B. die geschichtliche Übersicht bei Schaffnit[4]). Schaffnit untersuchte Oxydasen, Diastasen und Proteasen von einer großen Anzahl Pflanzen mit dem Resultat, daß nach 8stündiger Behandlung bei —17° die Enzyme sich als unverändert wirksam erwiesen. Und er erinnert daran, daß, was die Zymase betrifft, deren große Kälteresistenz aus Buchners Methode, durch das Gefrieren des Zellpreßsaftes zu einem

---

[1] d'Arsonval, Act. phys. des très basses temp. *Soc.-Biol.* 1892. Bd. XLIV. S. 808; hier zitiert nach Oppenheimer, Die Fermente. 4. Auflage.

[2] Pozerski, Action de quelques ferments solubles après refroidissement vers – 191 degrés au moyen de l'air liquide. *Soc. Biol.* 1900. Bd. LII. S. 714.

[3] Bickel, Notiz über die Resistenz des Pepsins gegen niedere Temperaturen. *Deutsch. med. Wochenschr.* 1905. S. 1383; zitiert nach Oppenheimer, Die Fermente.

[4] Schaffnit, Über den Einfluß niederer Temperaturen auf die pflanzliche Zelle. *Zeitschr. f. allg. Physiol.* 1911. Bd. XII. S. 322.

Präparat von höherer Konzentration und Wirksamkeit zu gelangen, hervorgeht.

Zu mehr positiven Ergebnissen ist indessen Hepburn[1] gekommen. Das Referat in Malys Jahresbericht sei hier wörtlich wiedergegeben: „Enzyme, die die Hydrolyse von Fetten, Kohlehydraten und Eiweißkörpern bewirken, oder die bei der alkoholischen Gärung und bei Oxydation und Reaktion eine Rolle spielen, vertragen niedere Temperaturen mehr oder minder lange Zeit. Untersucht wurden Temperaturen von 0° bis zur Temperatur der flüssigen Luft. Die längste Haltbarkeit wurde bei Temperaturen von —9·4° bis —12·2° mit 89 Monaten beobachtet. Bei der Temperatur der flüssigen Luft erhält sich die Wirksamkeit nur etwa eine Stunde: bei der autolytischen Verdauung wurde eine bedeutende Reaktionsgeschwindigkeitserniedrigung gefunden".

Bei den Versuchen, über die nachstehend berichtet werden soll, wurde eine Mischung von Kohlensäureschnee und Äther angewandt, die bei direkter Messung mittels eines Toluolthermometers eine Temperatur von —70° bis —80° zeigte. Bei den Gefrierversuchen wurde in die gewöhnlichen Vakuumröhren 0·2 g Muskulatur eingebracht, wonach 0·3 ccm Wasser hinzugesetzt wurde, welcher Zusatz geschah, um das Gefrieren der Muskulatur zu beschleunigen. Ohne Wasser konnte es geschehen, daß die Muskulatur nur unbedeutend die Wand der Vakuumröhre berührte, und daß also eine umgebende Luftschicht die Kältewirkung auf die Muskulatur verzögerte. Nachdem die Muskulatur und das Wasser eingebracht worden, wurde der Glashahn eingesetzt, worauf die Vakuumröhre geschlossen wurde. Dies geschah, um das Einsaugen von Kohlensäure sowie Ätherdämpfen in die Röhre bei der Druckverminderung, die beim Eintauchen der Röhre in die Kältemischung stattfand, zu verhindern. Die Kältemischung befand sich in einem geeigneten Becherglas, das das gleichzeitige Eintauchen der zu untersuchenden Röhren gestattete. Nach 5-minutigem Stehen in der Kältemischung wurden die Röhren herausgenommen, auftauen gelassen und sodann gleichzeitig mit den Kontrollproben mit Methylenblau, Phosphatlösung und der Aktivatorsubstanz versetzt, wobei die Mengen so abgepaßt wurden, daß die Gesamtmenge 1 ccm betrug.

Gefrierversuche wurden nur mit Substanzen ausgeführt, die sich als sehr gute Aktivatoren erwiesen hatten.

---

[1] Hepburn, *Journ. Franklin Inst.* Bd. CLXXIX. S. 581—585; hier zitiert nach Malys *Jahresbericht.* 1915. Bd. XLV. S. 422.

Tabelle 18.

Bernsteinsäure und Zitronensäure, neutrale, 0·1-molare Lösungen.
Methylenblau, 20 mP.
Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 2mal mit der 20fachen Menge dest. Wassers, jedesmal 15 Min. lang, geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre. Die Muskulatur, die gefroren werden sollte, wurde in die gewöhnlichen Vakuumröhren eingebracht, mit 0·3 ccm Wasser versetzt und dann 5 Minuten lang in eine Kohlensäure-Äther-Kältemischung gehalten.

		— 80°		— 80°		— 80°
Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Bernsteinsäure			0·4	0·4		
Zitronensäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 5:30						
Ablesung 5:50	—	—	+ +	+ +	+ +	—
6:15	—	—	+ +	+ +	+ +	—
6:45	—	—	+ + +	+ + +	+ + +	—
8:45	+	—	+ + +	+ + +	+ + +	—

Resultat: Die spontane Entfärbung scheint durch das Gefrieren herabgesetzt zu sein. Ein Einfluß auf die Bernsteinsäureentfärbung nicht wahrnehmbar. Dagegen ist der Mechanismus für die Ausnutzung der Zitronensäure als Aktivator gestört worden, so daß eine Wirkung dieses Aktivators nicht mehr wahrgenommen werden kann.

Tabelle 19.

Oxyglutarsäure und Glutaminsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen. Sonst wie vorige Tabelle.

		— 80°		— 80°		— 80°
Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Oxyglutarsäure			0·4	0·4		
Glutaminsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 5:15						
Ablesung 5:45	—	—	+	+	+	—
5:55	—	—	+ +	+	+ +	—
6:15	—	—	+ + +	+ +	+ + +	—
8:45	+ +	—	+ + +	+ + +	+ + +	—

Resultat: Die spontane Entfärbung scheint durch das Gefrieren gehindert zu sein. Die Oxyglutarsäure wirkt andauernd als Aktivator, wenn auch das Gefrieren eine Abschwächung verursacht zu haben scheint. Die aktivierende Wirkung der Glutaminsäure nach dem Gefrieren nicht länger nachweisbar.

Tabelle 20.

β-Oxybuttersäure und Maleinsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen. Die Versuche in allen sonstigen Punkten wie die bereits mitgeteilten.

		— 80°		— 80°		— 80°
Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
β-Oxybuttersäure			0·4	0·4		
Maleinsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 5:5						
Ablesung 5:40	—	—	+	—	+	—
6:10 . . .	—	—	+ + +	—	+	—
6:50 . . .	+	—	+ + +	—	+ +	—
8:10 . . .	+ +	—	+ + +	—	+ +	—

Resultat: Die Spontanreduktion durch das Gefrieren herabgesetzt. Nach dem Gefrieren wirken weder die β-Oxybuttersäure noch die Maleinsäure als Aktivatoren.

Tabelle 21.

Linksweinsäure und Mesoweinsäure, 0·1-molare Lösungen. Sonst wie in voriger Tabelle.

		— 80°		— 80°		— 80°
Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Linksweinsäure			0·4	0·4		
Mesoweinsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 11:30						
Ablesung 12:10 . . .	—	—	+ + +	—	+ +	—
1:20 . . .	—	—	+ + +	—	+ + +	—

Resultat: Nach dem Gefrieren wird keine Entfärbung mit Linksweinsäure oder Mesoweinsäure erhalten.

Tabelle 22.

α-Oxybuttersäure, 0·1-molare, neutrale Lösung.

Sonst die Versuche wie die bereits mitgeteilten.

	— 80°		— 80°	
Röhre:	1	2	3	4
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2
α-Oxybuttersäure			0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3	
Im Thermostat 11:55				
Ablesung 12:20 . . .	—	—	+ +	—
4:20 . . .	+ +	—	+ + +	—

Resultat: Die Spontanreduktion durch das Gefrieren gehemmt. Nach dem Gefrieren fungiert nicht die *α*-Oxybuttersäure als Aktivator.

Tabelle 23.

Äpfelsäure und Fumarsäure, 0·1-molare Lösungen.

Diese Versuche wurden ohne gleichzeitige Kontrollproben mit ungefrorener Muskulatur angestellt. Sie dürften demungeachtet im Hinblick auf die Sicherheit und Raschheit, mit der sowohl Äpfelsäure als Fumarsäure als Aktivatoren wirken, als völlig beweisen angesehen werden können.

	— 80°	— 80°	— 80°	— 80°	— 80°
Röhre:	1	2	3	4	5
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Äpfelsäure		0·2	0·4		
Fumarsäure				0·2	0·4
Wasser	0·4	0·2		0·2	
Im Thermostat 12:35					
Ablesung 1:5 . . .	—	—	—	—	—
2:5 . . .	—	—	—	—	—
4:55 . . .	—	—	—	—	—

Resultat: So sichere Aktivatoren wie Äpfelsäure, die natürliche linksdrehende, und die Fumarsäure sind durch das Gefrieren inaktiviert worden.

Tabelle 24.

Zusammenfassende Tabelle über die Einwirkung einer raschen, starken Abkühlung auf das Vermögen der Muskulatur, die nachstehenden Substanzen zu oxydieren. Vermögen gewahrt wird mit + bezeichnet, Vermögen verschwunden mit —.

Bernsteinsäure	+
Zitronensäure	—
Oxyglutarsäure	+
Glutaminsäure	—
β-Oxybuttersäure	—
Maleinsäure	—
Linksweinsäure	—
Mesoweinsäure	—
α-Oxybuttersäure	—
Fumarsäure	—
Äpfelsäure	—

Bevor wir hieraus Schlüsse betreffs der Anzahl Enzyme in der Enzymmasse ziehen, seien einige Resultate einer entsprechenden Prüfung mit hohen Temperaturen mitgeteilt.

Was indessen die Frage der Beeinflussung der Enzyme mittels eines raschen und kräftigen Gefrierens betrifft, so sei betont, daß die Möglichkeit einer derartigen Beeinflussung nach diesen Untersuchungen in einem anderen Lichte als zuvor stehen dürfte. Wenn man auch, wie die geschichtliche Übersicht gezeigt hat, schon früher wohl Beweise für eine derartige „Kryolabilität" gewisser Enzyme gehabt hat, so dürfte man nun in den hier fraglichen Enzymen und in der hier angewandten Methode eine Möglichkeit besitzen, diese Sache mit der Raschheit und Sicherheit des Vorlesungsexperiments nachzuweisen. Die Vorkehrungen sind einfach und die Resultate sehr augenfällig.

Die Frage der Kryolabilität der Fermente hat bisher wohl gänzlich abseits der großen Heerstraßen der Fermentforschung gelegen. Nachdem eine Ausnutzung dieser Eigentümlichkeit sich als ein nützliches Hilfsmittel im Dienste der Fermentforschung erwiesen hat, dürfte sie auf größeres Interesse und größere Anwendung rechnen können. In der Tat liegt wohl aller Anlaß vor, verschiedene mehr labile Fermente und Fermentkomplexe (einschließlich einiger Eiweißstoffe) einer Analyse daraufhin zu unterziehen, wie ihre Wirkung durch eine eingeschaltete Abkühlung beeinflußt wird.

Was die Deutung der fraglichen Thermolabilität betrifft, so ist sie wohl, wie in der geschichtlichen Übersicht bereits angedeutet worden, als ein Spezialfall der Kryolabilität gewisser Kolloide zu betrachten. Worauf die irreversible (oder wenigstens beträchtliche Zeit hindurch bestehen bleibende) Zustandsänderung beruht, ist ja auch Gegenstand einiger Theorien gewesen. Weiteres zur Beleuchtung hiervon zu bringen, liegt nicht im Rahmen dieser Arbeit.

Versuche, die Dehydrogenasen mittels hoher Temperaturen zu differenzieren.

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß die Muskulatur in der offenstehenden Vakuumröhre, nach Zusatz von 0·3 ccm Wasser, 20 Minuten lang der Einwirkung von Wärme mittels Eintauchens der Röhre in ein Wasserbad von genau geregelter Temperatur ausgesetzt wurde. Nur die Einwirkung der Temperaturen 45°, 50°, 55°, 60° und 65° ist untersucht worden.

Betreffs der Resultate sei teils auf eine Anzahl beigefügter Versuchsprotokolle, teils auf nachstehende, etwas vollständigere Zusammenfassung verwiesen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß in dieser Zusammenfassung der Grad der Hemmung nicht zum Ausdruck hat gebracht werden können. Andauernd vorhandenes, wenn auch herabgesetztes Aktivierungsvermögen wird also mit +, ganz verloren gegangenes (soweit die Methode darüber hat Aufschluß geben können) mit — bezeichnet.

Tabelle 25.

Untersuchte Substanzen	Verhalten nach 20 Min. langer Erwärmung auf				
	45°	50°	55°	60°	65°
Bernsteinsäure	+	+	—		
Oxyglutarsäure	+	+	+	?	—
Glutaminsäure	+	—			
Zitronensäure	—				
Äpfelsäure	—				
Linksweinsäure	—				
Mesoweinsäure	—				
Fumarsäure	—				
Maleinsäure	—				
Milchsäure, inaktiv	—				
α-Oxybuttersäure	—				

Tabelle 26.

Oxyglutarsäure und Fumarsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 2mal, je 15 Min. lang, mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. In jeder Vakuumröhre 0·2 g Muskulatur. Die Röhren 2, 4 und 6 wurden mit 0·3 ccm Wasser versetzt und 20 Minuten lang in 45° warmes Wasser eingetaucht.

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Oxyglutarsäure			0·4	0·4		
Fumarsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 11:45						
Ablesung 12:0	—	—	+ +	+ +	+ +	—
1:20	+	—	+ + +	+ +	+ +	—

Resultat: Spontanes Entfärbungsvermögen herabgesetzt. Die Dehydrogenase der Oxyglutarsäure hält 45° aus, die der Fumarsäure dagegen kaum.

Tabelle 27.

Zitronensäure und Äpfelsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 3mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. In jeder Vakuumröhre 0·2 g Muskulatur. Die Röhren 2, 4 und 6 wurden mit 0·3 ccm Wasser versetzt und 20 Min. lang in 45° warmes Wasser eingetaucht.

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphatmischung	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Zitronensäure			0·4	0·4		
Äpfelsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·4	0·3		0·3	
Im Thermostat 11:20						
Ablesung 11:50	—	—	+ +	—	+	—
12	—	—	+ + +	—	+ +	—
1:20	+	—	+ + +	—	+ +	—

Resultat: Die Muskulatur, die der Einwirkung von 45° Wärme 20 Min. lang ausgesetzt worden, zeigte herabgesetztes spontanes Entfärbungsvermögen. Der Mechanismus, der die entfärbende Wirkung von

Zitronensäure und Äpfelsäure bedingt, war gleichfalls in Unordnung geraten, was wahrscheinlich in der Thermolabilität der wirksamen Fermente seine Ursache hat.

Tabelle 28.

Milchsäure und Glutaminsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Phosphatmischung.

Methylenblau, 20 mP.

Froschmuskulatur, 2mal geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre. Die Röhren 2, 4 und 6 nach Zusatz von 0·3 ccm Wasser 20 Min. lang in 45° warmes Wasser gehalten.

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Milchsäure			0·4	0·4		
Glutaminsäure					0·4	0·4
Wasser bis 1 ccm						
Im Thermostat 11:20						
Ablesung 11:30 . .	—	—	+	—	+	+
11:45 . .	—	—	+ +	—	+ +	+ +
12:00 . .	—	—	+ + +	—	+ +	+ +
12:20 . .	—	—	+ + +	—	+ + +	+ + +
2:10 . .	+ +	—		+		

Resultat: Die Glutaminsäure behält ihre aktivierende Wirkung, von der der Milchsäure ist dagegen kaum etwas erhalten.

Tabelle 29.

Bernsteinsäure und Oxyglutarsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Froschmuskulatur, 2mal extrahiert. 0·2 g in jeder Röhre. Die Röhren 2, 4 und 6 nach Zusatz von 0·3 ccm Wasser 20 Min. lang mit 50° warmem Wasser behandelt.

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Bernsteinsäure			0·4	0·4		
Oxyglutarsäure					0·4	0·4
Wasser	0·7	0·7	0·3		0·3	
Im Thermostat 11:30						
Ablesung 11:45 . .	—	—	+ +	+	+	+
12:15 . .	—	—	+ + +	+	+ +	+
1:30 . .	+	—	+ + +	+ +	+ + +	+ +

Resultat: Die Behandlung bei 50° während 20 Minuten setzt zwar die Wirksamkeit der auf die Bernsteinsäure und Oxyglutarsäure eingestellten Dehydrogenasen herab, hebt sie aber nicht auf.

Tabelle 30.

Bernsteinsäure und Oxyglutarsäure 0·1-molare Lösungen.
Methylenblau, 20 mP.
Phosphatmischung.
3mal extrahierte Muskulatur. 0·2 g in jeder Röhre. Röhren 2, 4, 6, 8 15 Min. lang mit 55° warmem Wasser behandelt.

Röhre:	1	2	3	4	5	6
Methylenblau	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5	0·5
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Bernsteinsäure			0·4	0·4		
Oxyglutarsäure					0·4	0·4
Wasser bis 1 ccm						
Im Thermostat 12:55						
Ablesung 1:10	—	—	+ + +	—	+ +	—
1:45	—	—		—	+ + +	+
2:5	+ +	—		—		+ +
2:45	+ + +	—		—		+ + +
3:40		—		—		

Resultat: Während eine Erwärmung auf 55° während 20 Minuten die Succinodehydrogenase zerstört hat, ist die Wirkung der Oxyglutarsäure, wenn auch abgeschwächt, andauernd vorhanden.

Nach ähnlicher Behandlung mit 60° warmem Wasser war möglicherweise noch eine Spur von der Wirkung der Oxyglutarsäure vorhanden. Als dann eine Behandlung mit 65° warmem Wasser eingeschaltet wurde, war keine Andeutung einer Wirkung bei Bernsteinsäurezusatz (die auch nach Einwirkung von 60° vollständig gefehlt hatte) oder bei Zusatz von Oxyglutarsäure vorhanden.

An die Resultate dieser Versuche seien folgende Betrachtungen geknüpft:

Schon eine Erwärmung auf 45° während 20 Minuten ist hinreichend, um das Vermögen der Muskelmasse, als Wasserstoffdonatoren so kräftige Donatorsubstanzen wie Zitronensäure, Äpfelsäure, Fumarsäure, die Weinsäuren, Milchsäure und α-Oxybuttersäure anzuwenden, gänzlich aufzuheben.

Resistent gegen diese Temperatur sind nur die Enzyme, die auf Bernsteinsäure, Oxyglutarsäure und Glutaminsäure eingestellt sind.

Schon bei 50° ist es mit dem noch bei 45° sehr ausgesprochenen Aktivierungsvermögen der Glutaminsäure zu Ende. Und das mächtige Enzym der Bernsteinsäure verträgt nicht 55° (für Froschmuskeln). Übrig bleibt nur die Oxyglutarsäure als bei dieser Temperatur sicher, wenn auch langsam wirkende Donatorsubstanz.

Die Erwärmungsversuche gewinnen ein erhöhtes Interesse, wenn sie den Kälteversuchen an die Seite gestellt werden. Als die resistentesten Enzyme wiesen die Kälteversuche gleichfalls die auf Bernsteinsäure und Oxyglutarsäure eingestellten aus.

Man dürfte also die Schlußfolgerung ziehen können, daß die auf Bernsteinsäure und Oxyglutarsäure eingestellten Enzyme nicht identisch mit denjenigen sein können, die bei 45° und durch Kältebehandlung zerstört werden. Überhaupt sprechen diese Versuche dafür, daß neben der bereits als selbständiges Enzym bekannten Dehydrogenase der Bernsteinsäure zunächst die Dehydrogenasen der Oxyglutarsäure und der Glutaminsäure Körper für sich sind.

Betreffs der Differenzierung der übrigen Enzymmasse bedarf es weiterer Versuche.

Zur vergleichenden Physiologie der Dehydrogenasen.

Der Unterschied zwischen den verschiedenen Lebensformen, die das Leben in überquellendem Reichtum darbietet, dürfte im letzten Grunde ein Stoffwechselphänomen sein. Hinter den unendlich wechselnden Eiweißstoffen, die die verschiedenen Lebensformen aufzuweisen haben, muß eine Verschiedenheit der Kräfte und damit mit größter Sicherheit der Enzyme und Enzymmischungen, die für die Synthese der Eiweißstoffe sorgen, liegen. Und auf dieselbe Weise kann man ruhig davon ausgehen, daß die für das Zellleben wahrscheinlich so wichtigen Dehydrogenasen Verschiedenheiten bei verschiedenen Arten darbieten werden, und daß diese Verschiedenheiten eben dazu werden beitragen können, vom Stoffwechselgesichtspunkt aus diese Arten zu charakterisieren.

Es hat sich bereits aus allgemeinen Gesichtspunkten der Art, wie sie oben flüchtig skizziert worden sind, als wünschenswert ergeben, die für die Froschmuskulatur begonnenen Untersuchungen auf andere Tierarten auszudehnen. Hierzu kommt, daß auch für die Frage der Spezifizität der Dehydrogenasen eine derartige vergleichende Untersuchung

Resultate verspricht. Es ist ja nicht ausgeschlossen, daß Enzyme, die bei der einen Tierart zusammen derart vorkommen, daß sie schwer auch nur funktionell zu differenzieren sind, nicht zusammen bei anderen Tierarten auftreten.

Als ein erster Beitrag zu einer derartigen vergleichenden Prüfung (die übrigens auf das Pflanzenreich auszudehnen wäre) seien hier die Resultate einiger Versuche über die Dehydrogenasewirkung bei Fischmuskulatur mitgeteilt.

Versuche an Muskulatur des Goldfisches [Carassius auratus (L. Bleek)].

Nachdem der Fisch durch Abschneiden des Kopfes und Zerstörung des Gehirns und Rückenmarks mittels einer Sonde getötet worden, wurde er auf einem hölzernen Brett dadurch befestigt, daß ein Pfriem durch das Schwanzende gebohrt wurde. Nachdem die Schuppen abgekratzt worden, wurde mittelst eines scharfen Messers die Muskulatur am Schwanzende und längs dem Rücken bis hinauf zum Kopfende herausgeschnitten, worauf der Körper zur Vornahme der entsprechenden Operation auf der anderen Seite gewendet wurde. An den so herausgeschnittenen fleischigen Teilen wurde die Haut sorgfältig wegpräpariert, worauf die Muskulatur möglichst fein zerschnitten wurde, bis sie gleichsam einen zähen, zusammenhängenden Brei bildete. Es erforderte dies beträchtlich längere Zeit als bei der Froschmuskulatur. — Während der größere Teil der Muskulatur weißlich war, fanden sich eingesprengt gewisse Partien von mehr rotbrauner Farbe. Da es schwer gewesen wäre, diese verschiedenen Formen von Muskulatur voneinander zu trennen, so wurden sie statt dessen möglichst sorgfältig beim Feinschneiden gemischt.

Durch einen Vorversuch wurde dann konstatiert, daß die nicht extrahierte Muskulatur spontanes Entfärbungsvermögen aufwies.

Tabelle 31.

In jede von 2 Vakuumröhren wurde 0·2 g Fischmuskulatur eingewogen.

Röhre:	1	2
Methylenblau, 20 mP	0·1	0·1
Phosphatmischung		0·2
Wasser	0·9	0·7
Evakuierung, Thermostat 12:5		
Ablesung 12:15 . . .	+ +	+ + +

Die Absicht bei den Fischversuchen war nicht die, alle die Substanzen zu prüfen, die bezüglich ihres Vermögens, als Aktivatoren gegenüber dem Entfärbungsvermögen der Froschmuskulatur zu dienen, untersucht worden waren, sondern es sollte bei ihnen nur festgestellt werden, ob dieselben Substanzen, die sich als kräftige Aktivatoren in der ebengenannten Hinsicht erwiesen hatten, auch dasselbe Verhalten gegenüber anderer Muskulatur zeigten.

Es erwies sich nun gleich von Anfang an, daß die Fischmuskulatur nicht ebenso kräftige Enzyme besaß wie die Froschmuskulatur. Bei denselben Mengen Muskulatur, Methylenblau und aktivierender Substanz erfolgte die Entfärbung bedeutend langsamer bei Fischmuskulatur.

Tabelle 32.

Bernsteinsäure, Glutaminsäure, Oxyglutarsäure in 0·1-molaren, neutralen Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Fischmuskulatur, 2mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. 0·2 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Bernsteinsäure		0·2	0·4				
Glutaminsäure				0·2	0·4		
Oxyglutarsäure						0·2	0·4
Wasser	0·7	0·5	0·3	0·5	0·3	0·5	0·3
Im Thermostat 5:30							
Ablesung 6:10 . .	—	+	+	—	—	—	—
7:10 . .	—	++	++	—	—	+	+
7:45 . .	—	++	++	—	—	++	++
9:45 . .	—	+++	+++	+	+	++	++

Resultat: Diese sämtlichen Stoffe konnten zwar als Aktivatoren fungieren. Aber das enzymatische System, das diese Substanzen mit der Fischmuskulatur und dem Methylenblau bilden, ist ziemlich schwach. Während bei den Froschversuchen bei Anwesenheit von Bernsteinsäure die Entfärbung oft nach weniger als $^1/_2$ Stunde vollständig ist, war sie hier nicht einmal nach 2 Stunden komplett. Die aktivierende Wirkung der Glutaminsäure hatte sich nach 2 Stunden nicht einmal geltend gemacht, und nach mehr als 4 Stunden war die Entfärbung mit einem so kräftigen Aktivator wie der Oxyglutarsäure noch nicht vollständig.

Tabelle 33.

Milchsäure, 0·2-molare Lösung (Gärungsmilchsäure), Rechtsweinsäure und Linksweinsäure, 0·1-molare Lösungen, sämtlich neutral.

Phosphatmischung.

Methylenblau, 20 mP.

Fischmuskulatur, 2mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. 0·2 g Muskulatur in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4	5	6	7
Methylenblau	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1	0·1
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2	0·2
Milchsäure		0·2	0·4				
Weinsäure, rechtsdr.. . .				0·2	0·4		
Weinsäure, linksdr. . . .						0·2	0·4
Wasser	0·7	0·5	0·3	0·5	0·3	0·5	0·3
Im Thermostat 6:00							
Ablesung 7:10 . .	—	—	—	—	—	—	—
7:45 . .	—	—	—	—	—	—	—
9:45 . .	—	+	+	—	—	+	+

Resultat: Eine gewisse, aber schwache aktivierende Wirkung konnte in diesem System nach einigen Stunden für Milchsäure und Linksweinsäure entdeckt werden. Die Wirkung ungeheuer viel schwächer als das System Froschmuskulatur-Methylenblau.

Um einen rascheren und deutlicheren Reaktionsausfall zu erhalten, wurde das Verhältnis zwischen der Muskulatur- und der Methylenblaumenge geändert. Von Muskulatur wurde die doppelte Menge, also 0·4 g, genommen und von der Methylenblaulösung (20 mP) 0,05 ccm, welche Menge ohne jede Schwierigkeit genau mittels der angewandten Schraubpipette abgemessen werden konnte. Hier seien einige Versuche mitgeteilt, die mit den eben angeführten Mengen ausgeführt worden sind.

Tabelle 34.

Glutaminsäure, α-Oxybuttersäure und Bernsteinsäure, 0·1-molare, neutrale Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Fischmuskulatur, 2mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge dest. Wassers geschüttelt. 0·4 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2
Glutaminsäure		0·2		
α-Oxybuttersäure			0·2	
Bernsteinsäure				0·2
Wasser	0·8	0·6	0·6	0·6
Im Thermostat 5:30				
Ablesung 5:50 . . .	—	—	—	+ +
6:15 . . .	—	—	—	+ + +
7:30 . . .	—	+	+ +	+ + +
8:10 . . .	—	+ +	+ + +	+ + +

Resultat: Bei den hier vorliegenden Proportionen zwischen Muskelsubstanz und Methylenblau erfolgt die Entfärbung rasch, wenn Bernsteinsäure als Aktivator angewandt wird. Auch die aktivierende Wirkung von α-Oxybuttersäure und Glutaminsäure tritt ziemlich deutlich hervor.

Tabelle 35.

Fumarsäure, Zitronensäure und Äpfelsäure (gewöhnliche), 0·1-molare Lösungen.

Methylenblau, 20 mP.

Phosphatmischung.

Fischmuskulatur, 2mal je 15 Min. lang mit der 20fachen Menge Wasser geschüttelt. 0·4 g in jeder Röhre.

Röhre:	1	2	3	4
Methylenblau	0·05	0·05	0·05	0·05
Phosphat	0·2	0·2	0·2	0·2
Fumarsäure		0·2		
Zitronensäure			0·2	
Äpfelsäure				0·2
Wasser	0·8	0·4	0·4	0·4
Im Thermostat 5:5				
Ablesung 5:50 . . .	—	—	+	—
6:15 . . .	—	—	+ +	—
7:30 . . .	—	—	+ + +	—
8:10 . . .	—	—	+ + +	—

Resultat: Während bei den oben mitgeteilten Froschmuskelversuchen ein Unterschied in der Geschwindigkeit, womit die Entfärbung bei Anwendung einerseits von Zitronensäure, andererseits von Fumar-

säure und Äpfelsäure nicht deutlich hervortrat, ist hier der Unterschied sehr deutlich. Fortgesetzte Versuche ergaben dasselbe Resultat. Man kann sogar daran zweifeln, ob Fumarsäure und Äpfelsäure als Aktivatoren gegenüber der hier fraglichen Fischmuskulatur fungieren können. Doch dürften weitere Versuche unter wechselnden Bedingungen zur Entscheidung der Sache erforderlich sein.

Der bescheidene Anfang zu einer vergleichenden Physiologie der Dehydrogenasen, der hier geliefert worden ist, ist von Interesse aus folgenden Gesichtspunkten.

Zunächst beweisen die Versuche mit der Muskulatur des Goldfisches, daß diese Muskulatur auf wenigstens verschiedene der Substanzen eingestellt ist, die als Oxydationsmaterial für die Froschmuskulatur dienen.

Andererseits scheint aber mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit das Vermögen der Froschmuskulatur, die Fumarsäure und die Äpfelsäure auszunutzen, nicht oder wenigstens nicht in entsprechendem Grade der angewandten Fischmuskulatur zuzukommen. Da dies auf die Möglichkeit hindeuten würde, daß die Bernsteinsäureumsetzung, die für den Frosch als über Fumarsäure hin geschehend angesehen wurde, nicht in denselben Bahnen beim Fisch erfolgte, so dürfte die Sache indessen eine genaue Prüfung verdienen, ehe sie akzeptiert wird. Der Befund spricht jedoch bis auf weiteres dafür, daß besondere Enzyme für die Dehydrogenisierung der Zitronensäure und besonders für die Dehydrogenisierung von Fumarsäure und Äpfelsäure vorhanden sind.

Die quantitativen Verhältnisse sind ganz andere für die Fischmuskulatur als für die Froschmuskulatur.

Zusammenfassung.

Wenn zerschnittene Muskulatur von einem eben getöteten Frosch genügend lange mit Wasser extrahiert wird, verliert sie das Vermögen, welches sie vorher besaß, in sauerstofffreiem Medium Methylenblau zu entfärben. Dies Vermögen wird indessen restituiert, wenn gewisse Stoffe dem System Muskulatur-Methylenblau zugesetzt werden, obgleich sie je für sich kein Entfärbungsvermögen besitzen. Durch eine Analyse eines solchen entfärbenden Systems (Bernsteinsäure-Muskulatur-Methylenblau) ist schon früher gezeigt worden, daß der Entfärbungsprozeß darin besteht, daß 2 Wasserstoffatome aus der Bernsteinsäure an das Methylenblau überführt werden durch Vermittelung eines Enzyms, einer

„Hydrogenotransportase“, wodurch teils eine wasserstoffärmere Säure, teils die Leukoverbindung des Methylenblaus gebildet werden. Die in dem diesbezüglichen Falle wirksame Hydrogenotransportase ist sehr spezifisch und kann ihren Wasserstoff kaum von irgend einem anderen Stoff als Bernsteinsäure beziehen. Das Enzym hat also den Charakter einer „Succinodehydrogenase“.

Wenn man das so gewonnene Resultat verallgemeinert, bedeutet die Entdeckung anderer Stoffe, welche das Entfärbungsvermögen aktivieren, zugleich die Entdeckung neuer Enzyme, welche für dieselben Stoffe spezifisch eingestellt sind. Und endlich führt die Entdeckung solcher Stoffe, für welche die Zellen spezifisch eingestellter Enzyme disponieren, zu dem wahrscheinlichen Schluß, daß diese Stoffe Zwischenglieder repräsentieren, welche die primären einfachen Nahrungsstoffe der Zellen auf ihren Weg zu den letzten Endprodukten passieren. Die Ausnutzung dieses Verhaltens schenkt eine besonders bequeme Möglichkeit die Zwischenglieder des oxydativen Abbaus zu entdecken.

Kräftig reaktivierend auf das verlorene Entfärbungsvermögen der Froschmuskulatur wirken außerhalb der schon früher bekannten Bernsteinsäure und Milchsäure besonders die Fumarsäure, die Oxybuttersäure (sowohl α- wie β-Form), die Äpfelsäure, die l-Weinsäure, die Mesoweinsäure, die l-α-Oxyglutarsäure, die Zitronensäure, die Glutaminsäure.

Bei den Versuchen, die besonderen Enzyme aus der Enzymmasse zu differenzieren, hat das Verhältnis gute Hilfe geleistet, daß die verschiedenen Enzyme eine ungleiche Resistenz gegen Temperatureinwirkungen zeigen. Besonders eigentümlich ist die ausgeprägte „Kryolabilität“ gewisser Enzyme.

Die folgende allgemeine Auffassung des oxydativen Abbaus der einfachen Nahrungsstoffe geht aus den mitgeteilten Untersuchungen hervor. Die einfachen Stoffe, wie Traubenzucker, Fette, Aminosäuren, welche den Zellen als Nahrung angeboten werden, passieren eine ganze Reihe von Zwischenstufen ehe sie das Endstadium des Abbaus erreichen. Ein früheres Glied in dieser Reaktionskette wird zu einem späteren durch indirekte Oxydation, durch „Dehydrogenisierung“ verwandelt. In gewissen Fällen mit Wasseraufnahme kombiniert, bewirkt die Dehydrogenisierung die Bildung wasserstoffärmerer, bzw. sauerstoffreicherer Produkte. In Kombination mit einer Kohlensäure-Abspaltung bewirkt sie eine Verkürzung der Kohlenstoffkette. Bei den diesbezüglichen Reaktionen sind eine ganze Reihe dehydrogenisierende oder, allgemeiner ausgedrückt,

wasserstoffüberführende Enzyme wirksam. Sie sind ausgeprägt spezifisch für die verschiedenen Zwischenglieder eingestellt. Der Wasserstoff, der einem bestimmten Stoff entzogen wird, kann entweder mit Sauerstoff kombiniert werden, wodurch also eine indirekte Oxydation zustande kommt, oder er kann zur Hydrierung anderer Stoffe angewendet werden. Dadurch, daß die diesbezüglichen Enzyme also als „Hydrogenotransportasen" wirksam sind, ist ihr Wirkungsbereich recht groß.

Für die hier entwickelte Auffassung sind alle Nahrungsstoffe, so wechselnd sie sind, im Grunde alle „Wasserstoffdonatoren". Tiefer gesehen ist der Wasserstoff der gemeinsame Brennstoff der Zellen. Hierdurch wird das Stellvertreten der verschiedenen Nahrungsstoffe füreinander unter einen gemeinsamen Gesichtswinkel gebracht.

Das Verhalten der Körpertemperatur bei mechano-therapeutischer Behandlung und gymnastischen Freiübungen.[1]

Von

D. Rancken.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Vor einigen Jahren begann ich eine Untersuchungsreihe über den Einfluß gewisser Bewegungsarten auf die großen Funktionen des Körpers, die Temperatur, die Kohlensäureabgabe, die Blutverteilung usw. Wegen anderweitigen Beschäftigungen ist es mir indessen bis jetzt nicht möglich gewesen, diese Reihe zum Abschluß zu bringen. Unter solchen Umständen habe ich es für angezeigt gefunden, meine bisher gezeitigten Resultate betreffend die Körpertemperatur hier kurz mitzuteilen.

Die Bestimmung der Körpertemperatur fand unter Anwendung der bolometrischen Methode statt[2]; da die Widerstandsrolle, welche ins Rectum hineingeführt wurde und bei jedem Versuch wenigstens 10 cm oberhalb der Analöffnung lag, mittels einer mehrere Meter langen Leitung mit dem Galvanometer verbunden war, war es der Versuchsperson möglich, sich innerhalb einer Strecke von etwa 6 m frei zu bewegen, und sie wurde also durch die Messungen in ihrem Tun und Lassen gar nicht gestört.

Jedenfalls bestand die nicht geringe Schwierigkeit, die Widerstandsrolle während der Körperbewegungen unverrückt zu erhalten, und infolge dieser Schwierigkeit scheiterten viele Versuche. Bei den hier besprochenen Versuchen war indessen dieser Übelstand überwunden.

---

[1] Der Redaktion am 15. Januar 1916 zugegangen.

[2] Vgl. Rancken, *Dies Archiv* 1908. Bd. XXI. S. 169.

Wenn die Widerstandsrolle bei gewöhnlicher Zimmertemperatur ins Rectum hineingeführt wurde, dauerte es etwa 15 Minuten, bis sie sich für die Körpertemperatur eingestellt hatte. Die eigentlichen Versuche begannen daher immer erst nach Ende dieser Zeit.

Da die Größe der Wärmebildung im Körper nicht ausschließlich durch die Intensität des Wärmeverlustes bedingt ist, erscheinen, wie längst bekannt, auch bei bettlägerigen Individuen stetige kleine Variationen der Körpertemperatur.

Hierher gehören die regelmäßigen Tagesschwankungen, deren Größe im allgemeinen zu 0·8 (36·7° bis 37·5° C) bis 1·5° C angegeben wird. Die niedrigere Zahl gilt wohl nur, wenn das Versuchsindividuum den ganzen Tag ruhend ist; denn bei körperlicher Bewegung steigt die Temperatur leicht oberhalb 37·5° C. So wird ja die Rektaltemperatur infolge von Muskelarbeit nicht selten um 0·5 bis 1·5° C erhöht; und schon nach einem halbstündigen Spaziergang kann sie auf 38° C ansteigen. Bei Arbeit an einem stationären Fahrrad wies Benedict eine Zunahme von 0·71° C nach; während der fortgesetzten Arbeit blieb die Temperatur auf dieser Höhe stehen. Laufen auf der Stelle während 10 Minuten steigerte die Temperatur um 0·41° C. Nach mehrstündigen Wettkämpfen sind Temperaturen von 39° bis 40° C, also Steigerungen um sogar 2·5° C über die normale Temperatur, beobachtet worden.

Um den Verlauf der Körpertemperatur bei der mechanotherapeutischen Behandlung richtig würdigen zu können, muß man auch die Einwirkung der Körperstellung auf die Körpertemperatur berücksichtigen.

Bei zwei früher von mir ausgeführten Versuchen genügte die zum Erhalten der aufrechten Stellung nötige Muskelarbeit vollständig, um die Temperatur der angekleideten Versuchsperson bei gewöhnlicher Zimmertemperatur auf 37·4° C zu erhalten. Sobald die Versuchsperson aber die horizontale Stellung annahm und still im Bette lag, fing die Temperatur an zu sinken und nahm durchschnittlich um 0·3° bis 0·5° C ab, bevor der Körper durch eine stärkere Wärmebildung gegen eine weitere Senkung reagierte. Hierbei ist indessen zu berücksichtigen, daß das aufrechte Stehen unter Aufwand von wesentlich verschiedener Muskeltätigkeit stattfinden kann, und daß meine Beobachtung, aller Wahrscheinlichkeit nach, sich auf eine ziemlich kräftige Muskelwirkung bezieht.[1]

---

[1] Vgl. Dahlström und Nordberg, *Dies Archiv.* 1917. Bd. XXXVI. S. 256.

Wünscht man die Einwirkung einer bestimmten gymnastischen Bewegung festzustellen, so sollte daher die Versuchsperson auch vor dem Versuch, und zwar so lange, bis das Galvanometer eine Konstanz der Temperatur angibt, die gleiche Körperstellung einnehmen.

Da die Mechanotherapie indessen nie in dieser Weise ausgeübt wird, habe ich in der Regel meine Versuche auf andere Weise angeordnet.

I. Die Einwirkung gymnastischer Freiübungen auf die Körpertemperatur.

Die Versuchspersonen waren zwei gut trainierte Kandidaten an der hiesigen Anstalt für die Ausbildung von Gymnastiklehrern, und ein Schüler mit weniger geübter Muskulatur.

Die von ihnen geleisteten Bewegungen waren: Tagesübung Nr. 3 in Wides Buch: Kroppsöfningar gifva hälsa och kraft (Körperbewegungen geben Gesundheit und Kraft), ferner die acht ersten Übungen in Müllers „Mein System", letztere in dem für gut Geübte angegebenen Umfange, sowie schließlich ein besonderes Bewegungsprogramm von sechs Nummern, welche entweder mit oder ohne Stab ausgeführt wurden.

Kandidat A. arbeitete nach Wide und Müller. Körperlänge 160 cm, Körpergewicht 54 kg; er ist also sehr mager. Er führte das Programm von Wide zweimal aus, nämlich teils nackt (nur dünne Schwimmhosen), teils angezogen (ohne Rock und Kragen).

Tabelle I.

	Nackt	Angezogen
Anfangstemperatur	37·60	37·89
Nach Bewegung 1	37·59	37·90
„ „ 2	37·56	37·90
„ „ 3	37·56	37·91
„ „ 4	37·56	37·91
„ „ 5	37·55	37·91
„ „ 6	37·55	37·90
„ „ 7	37·55	37·91
„ „ 8	37·56	37·92
„ „ 9	37·57	37·92
„ „ 10	37·56	37·93
„ „ 11	37·55	37·96
„ „ 12	37·55	37·96
Nach Ruhe (20 Min.)	37·52	(10 Min.) 37·68

Die Anfangstemperatur war in beiden Fällen hoch, insbesondere beim angezogenen Körper.

Beim nackten Körper sind die Bedingungen der Wärmeabgabe bei diesem mageren Individuum so günstig, daß die Rektaltemperatur trotz der Bewegungen etwas herabsinkt.

Beim bekleideten Körper steigt dagegen die Temperatur um 0·07° C. Daß diese Steigerung flüchtiger Art ist, folgt aus der verhältnismäßig starken Abnahme um 0·28° C nach 10 Minuten Ruhe.

Auch das Programm von Müller wurde von Herrn A., und zwar an zwei verschiedenen Tagen, durchgeführt; dabei trug er nur Schwimmhosen.

Die folgende Tabelle gibt die Temperatur sowohl nach jeder Bewegung wie auch nach den zwischen diesen stattfindenden verstärkten Atembewegungen an.

Tabelle II.

	I	II
Anfangstemperatur	37·40	37·60
Nach Bewegung 1	37·39	37·60
,, Atemübung	37·35	37·59
,, Bewegung 2	37·35	37·59
,, Atemübung	37·40	37·60
,, Bewegung 3	37·45	37·70
,, Atemübung	37·48	37·71
,, Bewegung 4	37·48	37·71
,, Atemübung	37·50	37·71
,, Bewegung 5	37·50	37·71
,, Atemübung	37·53	37·70
,, Bewegung 6	37·53	37·71
,, Atemübung	37·53	37·71
,, Bewegung 7	37·53	37·72
,, Atemübung	37·56	37·72
,, Bewegung 8	37·60	37·73
,, Atemübung	37·60	37·75

Die Temperatur steigt also im ersten Falle um 0·20° C, im zweiten um 0·15° C. Tatsächlich ist dieses Bewegungsprogramm mehr anstrengend als das von Wide entworfene, was seinen Ausdruck darin findet, daß die Temperatur selbst beim nackten Körper in ziemlich bedeutendem Grade ansteigt.

Das Programm, welches von Herrn W. entworfen war und nach welchem sowohl er selber als der Schüler L. ihre Bewegungen ausführten, war folgendes:

1. Zehenstand, Stab hoch; sechsmal im Takte der Atmung.

2. a) Knieheben links nach vorne, Stab schulterhoch vor der Brust; b) Beinstrecken nach vorne, Stab schulterhoch nach vorne; c) = a); d) Grundstellung; e) = a); f) Beinstrecken nach außen, Stab hoch; g) = a); h) Grundstellung. Die ganze Reihe je viermal nach links und rechts.

3. a) Ausfall links, seitwärts, Stab schulterhoch vor der Brust; b) Rumpfbeugen nach vorne, Stab tief nach vorne; c) = a); d) Rumpfbeugen seitwärts, Stab hoch; e) = a); f) Grundstellung. Die ganze Reihe je viermal nach links und rechts.

4. a) Rückheben des linken Beines, Stab schulterhoch vor der Brust; b) Wagestellung, Stab hoch; c) = a); d) Grundstellung. Die ganze Reihe je dreimal nach links und rechts.

5. a) Ausfall links, seitwärts, Stab schulterhoch nach vorne; b) Rumpfdrehen links, Stab links schulterhoch; c) Rumpfbeugen rechts, Stab links seithoch; d) = b); e) = a). Die ganze Reihe je dreimal links und rechts.

6. Sprung wechselweise in Beinspreiz- und Beinkreuzstellung. 50 mal.

Kandidat W., Länge 167 cm, Körpergewicht 63 kg. Das subkutane Fett ist bei ihm viel stärker ausgebildet als bei Kandidat A.

W. führte sein Programm während sechs nacheinander folgender Tage, teils ohne Stab, teils mit einem Eisenstab von 1·5 kg, teils endlich mit einem von 4 kg Gewicht aus.

Bei den drei ersten Versuchen war er nackt, bei den drei letzten angezogen (ohne Rock und Kragen).

Tabelle III.

1. Nackt.

	Ohne Stab	Stab von 1·5 kg	Stab von 4 kg
Anfangstemperatur	37·43	37·40	37·20
Nach Bewegung 1	37·43	37·43	37·20
,, ,, 2	37·46	37·45	37·21
,, ,, 3	37·47	37·50	37·22
,, ,, 4	37·49	37·53	37·23
,, ,, 5	37·53	37·56	37·28
,, ,, 6	37·53 (?)	37·62	37·32
Zunahme	0·10	0·22	0·12
Dann Laufen auf der Stelle nach 0·5′	37·59	37·67	Nach 6′ Ruhe
,, ,, ,, ,, ,, ,, 1·0′	37·65	37·68	37·36
,, ,, ,, ,, ,, ,, 2·0′	37·71	37·71	Nach 9′ Ruhe
,, ,, ,, ,, ,, ,, 3·0′	37·73	37·72	37·22
Zunahme	0·20	0·10	
Ruhe	37·74	37·75	
Nach 6 Min. Ruhe	37·65	—	

Das Laufen während 3 Minuten erhöht die Körpertemperatur etwa um ebensoviel wie die oben genannten Bewegungen während 15 Minuten.

Tabelle IV.

2. Angezogen.

	Ohne Stab	Stab von 1·5 kg	Stab von 4 kg
Anfangstemperatur	37·50	37·50	37·37
Nach Bewegung 1	37·50	37·53	37·40
,, ,, 2	37·53	37·57	37·45
,, ,, 3	37·56	37·59	37·56
,, ,, 4	37·61	37·60	37·62
,, ,, 5	37·62	37·64	37·68
,, ,, 6	37·66	37·75	37·71
Zunahme	0·16	0·25	0·34
Nach Ruhe während 2 Min. . .	37·67	—	37·72
,, ,, ,, 7 ,, . .	—	—	37·62
,, ,, ,, 18 ,, . .	37·54	—	—

Bei allen Versuchen erschien also bei W. eine Zunahme der Körpertemperatur.

Beim angezogenen Körper war die Zunahme etwas größer und die Temperatur sank etwas langsamer als beim nackten.

Auch war die Zunahme bei Anwendung des Stabes größer als ohne den Stab, und der schwerere Stab ergab eine größere Temperaturzunahme als der leichtere; indessen dürfte dies nur dann stattfinden, wenn der Stab für die Leistungsfähigkeit der Versuchsperson nicht zu schwer ist, sondern von ihr ohne Schwierigkeit bewältigt wird.

Daß beim ersten Versuche mit dem schweren Stab die Zunahme der Temperatur geringer war als beim leichteren Stab, erklärt sich vielleicht aus der verhältnismäßig niedrigen Anfangstemperatur. In diesem Falle nimmt nämlich die Temperatur bei den peripheren Teilen des Körpers, wie mehrere Versuche ergeben haben, in einem gewissen Grade zu, bevor die Zunahme der Rektaltemperatur erscheint.

Der Schüler L., 17 Jahre alt, ist lang und schlank; Körperlänge 178 cm, Körpergewicht 61·5 kg. Die Muskulatur schwach entwickelt. Er machte seine Bewegungen ohne Rock und Weste. Programm dasselbe wie bei W.

Tabelle V.

	Stab von 1·5 kg	Stab von 4 kg	Ohne Stab	Stab von 1·5 kg	Stab von 4 kg
Anfangstemperatur	37·33	37·30	37·33	37·31	37·30
Nach Bewegung 1	37·35	37·30	37·39	37·33	37·35
,, ,, 2	37·38	37·33	37·43	37·34	37·40
,, ,, 2	37·38	37·33	37·44	37·39	37·46
,, ,, 4	37·44	37·38	37·50	37·41	37·53
,, ,, 5	37·44	37·44	37·50	37·41	37·58
,, ,, 6	—	—	37·53	37·42	37·61
Zunahme	0·11	0·14	0·20	0·11	0·31

Außer diesen fünf Versuchen führte L. noch vier Versuche aus, bei denen das Programm nicht einmal, sondern dreimal ausgeführt wurde, nur mit dem Unterschied, daß die 6. Bewegung, der Sprung, allein am Ende der 3. Reihe und dann doppelt, d. h. 100mal, ausgeführt wurde. Die Pausen zwischen den Reihen waren 5 Minuten lang in stehender Ruhestellung.

Nach der ersten Periode A (Tabelle VI) ist die Temperaturzunahme in allen Versuchen etwa gleich groß bzw. 0·22, 0·21, 0·23, 0·17° C. Während der ersten Pause steigt die Temperatur an, statt zu sinken, und erhebt sich in den Versuchen 1, 2 und 4 (Versuch 3 läßt sich aus unten angegebenem Grunde hier nicht verwerten) um bzw. 0·20, 0·08 und 0·06° C.

Diese Steigerung setzt sich während der zweiten Arbeitsperiode B noch weiter fort und beträgt bzw. 0·08, 0·07 und 0·05° C.

Während der zweiten Pause beträgt die Steigerung im ersten Versuch 0·11° C; im zweiten steigt die Temperatur während den ersten drei Minuten um 0·03° C, sinkt aber im Laufe der folgenden zwei Minuten um ebensoviel. Beim vierten Versuch erhebt sich die Temperatur während der zweiten Minute der Pause auf 38·12° C, sinkt dann auf 38·10° C herab.

Bei der dritten Arbeitsperiode C ist die Temperatur im ersten Versuch konstant, bis die Sprungbewegungen ausgeführt werden. Unmittelbar nach diesen steigt die Temperatur auf 37·95° C und bei der darauf folgenden Ruhe in sitzender Stellung auf 37·98° C. Der zweite Versuch ergibt eine Zunahme um 0·05° C und der vierte anfangs eine Zunahme um 0·02°, dann eine gleich große Abnahme, welcher nach dem Sprunge wieder eine gleich große Zunahme folgt.

Tabelle VI.

	Stab von 1·5 kg	Stab von 4 kg	Stab von 4 kg	Stab von 4 kg
A. Anfangstemperatur	37·28	37·20	37·27	37·82
Nach Bewegung 1	37·29	37·23	37·30	37·83
,, ,, 2	37·36	37·30	37·35	37·89
,, ,, 3	37·40	37·33	37·44	37·95
,, ,, 4	37·46	37·38	37·48	37·97
,, ,, 5	37·50	37·41	37·50	37·99
Pause nach 1′	37·54	37·43	37·53	38·00
,, ,, 2′	37·58	37·46	—	38·02
,, ,, 3′	37·61	37·48	37·55	38·03
,, ,, 4′	37·67	37·49	—	38·04
,, ,, 5′	37·70	37·49	37·53	38·05
B. Nach Bewegung 1	37·73	37·49	—[1]	38·05
,, ,, 2	37·76	37·51	—	38·05
,, ,, 3	37·76	37·51	—	38·06
,, ,, 4	37·77	37·55	—	38·09
,, ,, 5	37·78	37·56	—	38·10
Pause nach 1′	37·78	37·56	—	38·11
,, ,, 2′	37·80	37·58	—	38·12
,, ,, 3′	37·85	37·59	—	38·11
,, ,, 4′	37·88	37·57	—	38·11
,, ,, 5′	37·89	37·57	—	38·10
C. Nach Bewegung 1	37·90	37·56	—	38·09
,, ,, 2	37·90	37·57	—	38·09
,, ,, 3	37·90	37·58	—	38·11
,, ,, 4	37·90	37·58	—	38·10
,, ,, 5	37·90	37·58	—	38·09
Sprünge (100)	37·95	37·61	—	38·11
Ruhe, sitzend	37·98	—	—	(10′) 37·83
,, liegend	—	—	—	(13′) 37·72
Zunahme	0·70	0·41	0·26	0·30

Nach den Sprungbewegungen bleibt die Körpteremperatur zwei Minuten lang, während welcher die Versuchsperson steht, unverändert. Wenn sie sich dann setzt, sinkt die Temperatur innerhalb zehn Minuten auf 37·83, also fast auf die Anfangstemperatur herab, und während der darnach folgenden Ruhe in liegender Stellung 13 Minuten später auf 37·72.° C.

Auch hier ist die Dauer der Nachwirkung nur kurz.

Die gesamte Zunahme der Temperatur beträgt im ersten Versuch 0·70, im zweiten 0·41 und im vierten 0·30° C. Der Stab von 4 kg Gewicht war entschieden zu schwer für L., welcher mit dem Stabe von

[1] Die Widerstandsrolle wurde etwas nach außen verschoben; die folgenden Messungen sind daher hier ausgeschlossen.

1·5 kg Gewicht die Bewegungen mit wesentlich größerer Kraft ausführte. Bei den drei letzten Versuchen, die zweieinhalb Wochen nach dem ersten gemacht wurden, beherrschte er indessen den schweren Stab viel besser als anfangs.

Bei sehr hoher Anfangstemperatur konnte man von vornherein erwarten, daß beim Körper eine so starke Neigung, die Temperatur herabzusetzen, vorhanden ist, daß keine größere Kraft bei den Bewegungen entfaltet werden kann. Bei zwei Versuchen war indessen die Anfangstemperatur beinahe 37·9° C, ohne daß dies einer ferneren Steigerung während der Bewegungen vorgebeugt hätte.

Übrigens sind hier irgendwelche weitere Ausführungen kaum nötig, denn das Ergebnis der Versuche stimmt mit dem, was von vornherein erwartet werden konnte, vollständig überein.

Wenn dasselbe Programm bei angezogenem Körper ausgeführt wird, so stellt sich die Wirkung größer als beim nackten Körper dar; dasselbe gilt auch in dem Falle, wenn der Wärmeverlust wegen hoher Lufttemperatur und großem Feuchtigkeitsgehalt herabgesetzt ist.

Daß eine unmittelbare Wiederholung der Bewegungen einen stärkeren Einfluß auf die Temperatur haben muß, ist selbstverständlich. Ebenso daß unter sonst gleichen Umständen die Anwendung eines geeigneten Stabes eine größere Temperatursteigerung hervorruft.

Die durch diese Bewegungen erzielte Temperaturzunahme ist indessen nur flüchtig, und die Temperatur sinkt bald auf ihren normalen Wert wieder herab.

II. Die Einwirkung der mechano-therapeutischen Bewegungen.

Diese wurden zum Teil an denselben Individuen wie die soeben besprochenen ausgeführt.

An W. wurde in erster Linie ein orientierender Versuch am Ende eines der oben besprochenen Versuche mit gymnastischen Freiübungen ausgeführt. Wenn W. die halbliegende Stellung einnahm, sank seine Temperatur innerhalb zehn Minuten von 37·65 auf 37·46° C herab, obgleich dabei Armrollen, -beugen und -strecken sowie Beinrollen und Beinstreckung in gewöhnlicher Weise gemacht wurden. Während dem darnach folgenden Rumpfdrehen in sitzender Stellung stieg die Temperatur auf 37·53° C an und sank beim Stehen auf 37·49° C

herab. Eine gründliche Rückenhackung übte keine Einwirkung auf die Temperatur aus.

Folgende Versuche wurden an T. — Körpergewicht 67 kg, Körperlänge 169·5 cm — ausgeführt.

Beim ersten Versuche saß er in Reitsitz auf der hohen Bank, bis das Bolometer eine Temperatur von 37·34° C angab. Ein gründliches Rumpfrollen in großem Kreise bewirkt ebensowenig wie ein gründliches Brustweitung eine Temperaturzunahme — die Temperatur blieb die ganze Zeit hindurch auf 37·34° C stehen.

Gelegentlich ist in diesem Zusammenhange folgendes zu bemerken. Die vom Bolometer angegebene Temperatur ist von der Temperatur der Hämorrhoidalgefäße und der in ihnen, insbesondere den Venen, enthaltenen Blutmenge bedingt. Wenn nun die Ansaugung in der Brusthöhle beim Tiefatmen ihre Wirkungen bis zu diesen Gefäßen erstrecken würde, so sollte dabei eine deutliche Temperaturabnahme im Rectum auftreten müssen. Da dies nicht der Fall ist, dürfte die Ansaugung in der Brusthöhle sich nicht so weit erstrecken.

Nach dem Rumpfrollen folgte ein Rumpfdrehen mit starkem Widerstand, zehnmal nach jeder Seite. Die Körpertemperatur stieg dabei um 0·04° C an und während der darnach folgenden Brustweitung noch um 0·01° C. Nach vier Minuten Ruhe war die Temperatur 37·36° C. Durch Rumpfbogendrehung im Reitsitz erhebt sie sich auf 37·38° C. Fünf Minuten später ist die Temperatur wieder 37·34° C.

Dann nimmt T. eine halbliegende Stellung auf der Bank ein, und schon zwei Minuten später ist die Temperatur auf 37·31° C herabgesunken.

In der letzteren, vortrefflichen Ruhelage ist die Wärmebildung in der Muskulatur wesentlich herabgesetzt, und die Körpertemperatur nimmt daher schnell ab. Dies stellt eine konstante Erscheinung dar, die ich bei jeder Versuchsperson beobachtet habe.

Am folgenden Tage wurde ein ähnlicher Versuch ausgeführt. Anfangstemperatur 37·53° C. Durch Rumpfrollen steigt sie nur um 0·01° C, also auf 37·54° C. Das Rumpfdrehen, welches viel stärker und gründlicher als bei der gewöhnlichen Heilgymnastik gemacht wurde, treibt die Temperatur auf 37·64° C, also eine Zunahme um 0·10° C. Während die Rumpfbogendrehung bei Hüftstütze im Reitsitz unter starkem Widerstand ausgeführt wird, steigt die Temperatur, die während der Pause etwas herabgesunken war, wieder auf 37·64° C. Bei der Brustweitung nach den einzelnen Bewegungen wurde die Temperatur

nicht verändert. Nach der Bogendrehung hielt sie sich drei Minuten lang konstant und begann dann abzunehmen.

Versuchsperson L. zeigte im ersten Versuch bei Rumpfdrehen im Reitsitz keine Temperaturveränderung, ebensowenig bei der darauf folgenden Brustweitung. Während des jetzt folgenden Rumpfrollens sank die Temperatur von 37·44 auf 37·41° C.

Die Versuchsperson legte sich dann auf den Bauch, wobei eine schnelle Temperaturabnahme erschien. Binnen sieben Minuten war die Temperatur auf 37·11° C und binnen 15 Minuten auf 37·00° C herabgesunken.

Diese Abnahme ist bemerkenswert schnell, viel schneller, als ich je bei gewöhnlicher Rückenlage in etwa hundert Versuchen beobachtet habe. Dies kann natürlich nicht darauf zurückgeführt werden, daß die Wärmebildung in der Muskulatur bei der Bauchlage geringer als bei der Rückenlage wäre, sondern muß darauf bezogen werden, daß die Blutverteilung jetzt eine andere ist. Wegen der Einwirkung der Schwere sind die Venen an der Vorderseite des Körpers in der Bauchlage stärker gefüllt als in der Rückenlage. Die Blutmenge in den Hämorrhoidalvenen nimmt also ab und damit auch die Temperatur im Rectum.

Diese schnelle Abnahme erscheint bei der Bauchlage vollkommen regelmäßig, wie aus folgender Zusammenstellung ersichtlich ist.

Tabelle VII.

Nr.	Datum	Anfangstemperatur	Endtemperatur	Differenz	Innerhalb Minuten
1	14. Juni	37·44	37·00	–0·44	15
2	16. „	37·34	37·00	–0·34	13
3	13. „	37·66	37·42	–0·24	12
4	18. „	37·46	37·10	–0·36	10
5	19. „	37·60	37·35	–0·25	7
6	2. Juli	38·03	37·76	–0·27	4

An L. wurden ferner folgende Versuche ausgeführt.

Trotz zweimal wiederholter kräftiger Wechseldrehung und gründlicher Brustweitung blieb die Körpertemperatur beim Versuch vom 2. Juli unverändert auf 37·79° C stehen. Wenn L. dann die halbliegende Stellung einnahm, sank die Temperatur binnen zwei Minuten auf 37·74° C, und dann, trotz zweimal wiederholtem Armrollen, -beugen und -strecken, immer weiter, bis auf 37·66° C. So folgte Beinrollen und Beinstreckung links, wobei die Temperatur auf 37·64° C abnahm. Wenn aber die gleichen Bewegungen nach rechts ausgeführt

wurden, fing die Temperatur an, zu steigen und erreichte ein paar Minuten nach der sehr kräftigen Streckung 37·69° C. Dann nahm L. die sitzende Stellung ein, und die Temperatur stieg binnen zwei Minuten auf 37·71° C und weiter auf 37·72° C bei krummsitzendem Rumpfaufrichten. Während der dann folgenden Ruhe (sitzend) war die Temperatur nach zwei Minuten 37·71° C, nach fünf Minuten 37·69° C.

Die erzielte Temperaturzunahme war also nur gering und flüchtig.

Am selben Tage wurde ein zweiter Versuch gemacht, wobei die Anfangstemperatur sehr hoch war, 38·1° C, was sich teils aus der hohen Außentemperatur, teils daraus, daß L. den Weg zum Institut rasch gegangen war, erklärt. Auch schwitzte er stark bei seiner Ankunft im Institut.

Der Versuch wurde so angeordnet, daß L. zwischen den einzelnen Bewegungen zwei Minuten lang spazierte.

Anfangstemperatur	38·10° C
Armkreisen mit Tiefatmung	38·13
Promenade	38·15
Halbliegendes Armrollen, -beugen, -strecken	38·08
Promenade	38·10
Halbliegendes Beinrollen, -strecken	38·05
Promenade	38·08
Reitsitzendes Wechseldrehen, Brustweitung	38·00
Promenade	38·03
Rückenknetung in der Bauchlage	37·85
Nervendruck und Hackung in Bauchlage	37·76
Promenade	37·69
Bauchmassage	37·63
Promenade	37·63
Krummsitzendes Rumpfaufrichten	37·58
Promenade	37·60
Halbliegendes Kniebeugen, -strecken	37·56
Promenade	37·58
Brustklopfen mit Armkreisen	37·55

Wegen der hohen Anfangstemperatur ließ sich beim Körper eine Neigung zur Temperaturabnahme erwarten. Dieser Neigung wurde durch die Bewegungen entgegengewirkt. Die Promenade steigerte die

Temperatur in der Regel um ein paar Hundertstel eines Grades. Erst durch die Bewegung in der Bauchlage wird die Wärmebildung in der Muskulatur so weit herabgesetzt, daß der Wärmeverlust sie übertrifft, und trotz der folgenden Bewegungen sinkt die Temperatur stets weiter herab.

Am folgenden Tag wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Anfangstemperatur	37·67° C
Reitsitzendes Wechseldrehen, Brustweitung	37·69
Promenade	37·72
Strecksitzendes Armrollen, -beugen, -strecken	37·70
Promenade	37·74
Halbliegendes Beinrollen, -aufziehen	37·69
Promenade	37·69
Krummstützstehendes Rumpfaufrichten	37·69
Promenade	37·71
Bogendrehung im Reitsitz	37·69
Promenade	37·69
Hock-halbliegendes Kniespreizen, -anziehen	37·67
Promenade	37·66
Armdrehen und -erschüttern	37·58
Promenade	37·62
Stehendes Rückenhacken, Kreuzbeinklopfen	37·58
Darauf nach fünf Minuten Ruhe	37·42

Anfangs erscheint hier eine Steigerung der Temperatur von 37·67 auf 37·74° C. d. h. um 0·07° C. Bei der dann folgenden Bewegung beobachtete L. die halbliegende Stellung, was eine Temperaturabnahme zur Folge hatte. Dann blieb die Temperatur unverändert, bis diese Stellung wieder angenommen wurde, wo wieder eine, jetzt etwas stärkere Senkung erschien.

Irgendwelche Temperatursteigerung am Ende der Bewegung ließ sich nicht nachweisen, vielmehr sank die Temperatur im Laufe von fünf Minuten um 0·16° C.

Gegen diese Versuche könnte eingewendet werden, daß die arbeitenden Muskeln sowohl bei den Extremitäten- wie bei den Rumpfbewegungen so große Blutmengen in Anspruch nehmen, daß eine relative Anämie im Rectum um die Widerstandsrolle herum entsteht. Dagegen möchte ich aber bemerken, daß die betreffende Arbeit von zu kurzer Dauer

und geringer Intensität gewesen ist, um eine nennenswerte Blutverschiebung hervorrufen zu können.

Obgleich die hier mitgeteilten Versuche zu wenig zahlreich und zu wenig variiert sind, um weitgehende Schlußfolgerungen zu gestatten, scheinen sie nichtsdestoweniger gewisse Fragen aufklären zu können.

Wegen des Gefühls von vermehrter Wärme und größerem Wohlbefinden, welches nach dieser Motionsgymnastik erscheint, könnte man eine größere Veränderung bei der Rektaltemperatur erwarten, insbesondere weil bei den betreffenden Muskelbewegungen keine äußere Arbeit geleistet wird, sondern der gesamte dabei stattfindende Energieumsatz dem Körper als Wärme zur Verfügung gestellt wird.

Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß diese örtlich gebildete Wärme durch das Blut auf den gesamten Körper verteilt wird, und also auf die Temperatur bei den nichtarbeitenden Körperteilen nur in einem ziemlich geringen Grade einwirken kann. Und es ist ja selbstverständlich, daß die Temperaturveränderungen in den arbeitenden Körperteilen an und für sich viel bedeutender als im Rectum sein müssen.

Aus meinen Versuchen geht ganz deutlich hervor, einen wie großen Einfluß andere Momente als die Bewegungen an und für sich auf die Körpertemperatur ausüben: so die Lage, in welcher die Bewegung stattfindet, ferner auch die Promenade zwischen den Bewegungen.

Bei den gymnastischen Freiübungen beobachteten wir Steigerungen um mehrere Zehntel eines Grades; bei den mechano-therapeutischen Eingriffen ist die Zunahme der Temperatur höchstens 0·07° C gewesen.

Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß das straffe Stehen, das bei den gymnastischen Bewegungen stattfindet, an und für sich eine verhältnismäßig hohe Temperatur unterhält.

Auch die Anfangstemperatur der Versuchsperson spielt hier eine wesentliche Rolle. Die Versuchsperson L. hat Anfangstemperaturen zwischen 37·2 und 38·1° C dargeboten, und dies, obgleich er bei jedem Versuch wenigstens 20 Minuten lang still saß, bevor die Temperaturmessung stattfand. Die höheren Temperaturen beziehen sich auf Versuche um 2 Uhr nachmittags, die niedrigeren auf Versuche um 10 Uhr vormittags.

Die Temperatur von 38° C bezeichnet daher, aller Wahrscheinlichkeit nach, nicht das absolute Maximum seiner Körpertemperatur während dieser Tage.

Die Anfangstemperaturen zeigen also größere Differenzen als die Differenzen, welche durch die hier studierten Bewegungen zustande kommen.

Da der Umsatz bei einem Menschen von 70 kg Körpergewicht bei stillsitzender Lebensweise etwa 2400 Kalorien beträgt, folgt aus den hier mitgeteilten Versuchen, daß die Wärmebildung während der Motionsgymnastik von dem hier benutzten Umfang in bezug auf den gesamten Umsatz nur eine ganz unbedeutende Rolle spielen kann. Die pro 24 Stunden berechnete Energieentwicklung wird dadurch in keinem deutlichen Grade erhöht, und die mittlere Körpertemperatur während des wachen Zustandes erleidet dadurch keinen nachweisbaren Einfluß. Ja, sogar während der Stunde, während welcher ein Bewegungsprogramm von 10 bis 20 Minuten Dauer geleistet wird, wird die mittlere Temperatur in keinem größeren Grade beeinflußt. Die etwaige Steigerung ist nur flüchtig und wird leicht kompensiert.

Der von niemand bestrittene günstige Einfluß der Motionsgymnastik muß also von anderen Umständen herrühren.

Da ich von vornherein von der Gymnastik einen sehr großen Einfluß auf die Körpertemperatur erwartete, habe ich bei den besprochenen Versuchen die Temperatur und Feuchtigkeit der Luft, die Menge und Art der Nahrung usw. nicht berücksichtigt, was aber bei einer erneuten Untersuchung dieser Frage sehr wünschenswert erscheint.

Alkohol und Präzisionsarbeit.[1]

Von

Uno Tötterman.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Durch zahlreiche, im Laufe der letzten Jahrzehnte ausgeführte Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß der Alkohol in nicht gar zu kleinen Gaben sowohl die geistige als die körperliche Leistungsfähigkeit des Menschen herabsetzt. Auch hat es sich herausgestellt, daß ein mehrere Tage lang fortgesetzter Alkoholkonsum, selbst dann, wenn die genossenen Alkoholmengen verhältnismäßig klein gewesen sind, unser geistiges Arbeitsvermögen stark beeinträchtigt, und zwar nicht allein im unmittelbaren Anschluß an den Alkoholgenuß, sondern noch zu einer Zeit, wo die direkte Einwirkung des Alkohols längst abgeklungen ist.

Dies wurde zum erstenmal von A. Smith[2] nachgewiesen. Die Versuche fanden an zwei Individuen statt, von welchen das eine seit mehreren Jahren total enthaltsam war, während das andere dagegen an alkoholische Getränke gewöhnt war.

Die Versuche umfaßten Addition einstelliger Zahlen, Auswendiglernen und Beobachtungen über Ideenassoziationen. Sie wurden in mehreren Reihen, teils alkoholfreien, teils solchen, während welcher 40 bis 80 g Alkohol täglich genossen wurden, ausgeführt. Diese Gaben wurden des Abends verzehrt, während die Versuche selber am folgenden Morgen ausgeführt wurden.

Aus diesen Versuchen geht mit aller wünschenswerten Deutlichkeit hervor, daß ein mehrere Tage lang fortgesetzter Alkoholkonsum das

[1] Der Redaktion am 15. Oktober 1916 zugegangen.

[2] A. Smith, *Ber. über den 5. intern. Kongr. gegen den Alkoholismus.* Basel 1895. S. 341.

Vermögen, die erwähnten Formen geistiger Arbeit zu leisten, in hohem Grade herabsetzt, und zwar ließ sich dieser schädliche Einfluß schon vom dritten Tage an nachweisen.

Diese Ergebnisse wurden durch Kurz und Kraepelin[1] vollständig bestätigt.

Da also ein während mehrerer Tage fortgesetzter Konsum von verhältnismäßig kleinen Alkoholmengen die geistige Leistungsfähigkeit herabsetzt, liegt es nahe, anzunehmen, daß auch die Fähigkeit, eine feinere mechanische Arbeit zu leisten, in der gleichen Weise durch den Alkohol beeinflußt werden soll. Indessen liegen meines Wissens keine direkten Versuche in dieser Richtung vor.

Die Versuche, über welche ich hier berichten werde, wurden auf Anregung von Herrn Privatdozenten Dr. Carl Tigerstedt beim hiesigen Physiologischen Praktikum im Herbst 1915 ausgeführt und bezweckten, die Frage aufzuklären, in welchem Maße der Konsum kleiner Alkoholmengen auf das Vermögen, eine mechanische Präzisionsarbeit zu leisten, einwirkt.

Als solche wurde das Einfädeln von Nadeln gewählt.

Obgleich diese Arbeit als ziemlich einfach erscheint, fordert sie nichtsdestoweniger, insbesondere, wenn der Faden im Verhältnis zum Durchmesser des Nadelöhrs ziemlich dick ist, eine nicht ganz unbedeutende Koordination zwischen Auge und Hand, und es ist von vornherein ja gut möglich, daß der Alkohol auf dieselbe einen schädlichen Einfluß ausüben könnte.

Als Versuchsperson diente der Verfasser selber.

Da gegen meine Versuchsergebnisse die Einwendung gerichtet werden könnte, daß sie möglicherweise in einem größeren oder geringeren Grade durch vorausgefaßte Ansichten über die Schädlichkeit des Alkohols beeinflußt wären, möchte ich bemerken, daß ich allerdings seit einem halben Jahre vor dem Beginn des Versuches total enthaltsam war, dennoch keinen persönlichen Widerwillen gegen den Alkohol habe und auch nicht der Ansicht bin, daß ein mäßiger Genuß von Alkohol in irgendwelcher Weise verwerflich ist. Hierzu kommt noch, daß ich zu der Zeit meiner Versuche nur eine ganz geringe Kenntnis von den Resultaten früherer Untersuchungen über den Einfluß des Alkohols auf die Leistungen des Menschen besaß.

[1] Kraepelin, *Psychologische Arbeiten.* Bd. III.

Meine Untersuchung erstreckte sich auf 43 Tage, vom 15. November bis zum 27. Dezember 1915. Die ersten 14 Tage waren alkoholfreie Normaltage. Dann folgte eine Alkoholperiode von 10 Tagen, dann wieder eine alkoholfreie Periode von 9 Tagen, worauf die Versuchsreihe mit einer neuen 10-tägigen Alkoholperiode abgeschlossen wurde.

Während der Versuchsdauer wurde eine möglichst regelmäßige Lebensweise beobachtet. Kein Tabakgenuß.

Im Laufe der Alkoholperioden wurden 100 ccm einer 25 prozentigen Alkohollösung täglich um 11 Uhr nachmittags genossen.

Die Versuche selber wurden um 10 Uhr vormittags ausgeführt — während der Alkoholperiode also 11 Stunden nach der Aufnahme von Alkohol —, und zu dieser Zeit war die direkte Wirkung des Alkohols schon seit langem verschwunden.

Jeder Versuch bestand darin, im Laufe von 20 Minuten möglichst viele Nähnadeln einzufädeln.

Zu Beginn des Versuches waren etwa 200 Nähnadeln leicht zugänglich in einem Nadelkissen eingestochen. Der Faden war in Stücken von etwa 20 cm Länge geschnitten, und diese Stücken lagen auf einem Brett solcherart ausgebreitet, daß sich ihre Enden einige Zentimeter über den Rand des Brettes erstreckten.

Um den Übelstand zu vermeiden, daß beim Fassen eines Fadens mehrere Fäden vom Brette gezogen werden könnten, wodurch das Fadenbündel leicht hätte in Unordnung geraten können, waren zwei Lineale quer über die Fäden gelegt. Vor mir lag ein Papier, auf welches die eingefädelten Nadeln geworfen wurden. Jede fünfte Minute wurde durch eine einfache Handbewegung ein neues Papier auf die Nadeln gelegt, und in solcher Weise war es bei dem nach Ende des Versuches stattfindenden Zählen der Nadeln möglich, nicht allein ihre Gesamtzahl festzustellen, sondern auch die bei jedem einzelnen Versuchsabschnitt von 5 Minuten geleistete Prästation zu erfahren.

Die bei den Versuchen benutzten Nadeln, Größe Nr. 6, waren 40 mm lang und hatten am Dickende einen Durchmesser von $^2/_3$ mm. Die Länge des Nadelöhrs war $^9/_{10}$ mm, die Breite $^1/_3$ mm. Der Nähfaden, Wasa-Nähfaden Nr. 36, war $^1/_3$ mm dick. Nach jedem Versuch wurden alle Fäden durchschnitten, um beim folgenden Versuche wieder ganz scharf zu sein. Sie wurden übrigens von Zeit zu Zeit vollständig erneuert.

Für die Wahl einer Nadel mit noch kleinerem Öhr sprach allerdings der Umstand, daß hierbei eine schwache Alkoholwirkung möglicherweise leichter hätte nachgewiesen werden können, denn je kleiner das

Nadelöhr ist, um so genauer muß ja die Handbewegung sein. In diesem Falle würde indessen schon eine unbedeutende Ungleichmäßigkeit des Fadens sehr störend eingewirkt haben.

Die Resultate meiner Versuche sind aus dem nachstehenden Diagramm ersichtlich (Fig. 1). Die ausführlichen Versuchsprotokolle sind in den Tabellen I bis IV zusammengestellt.

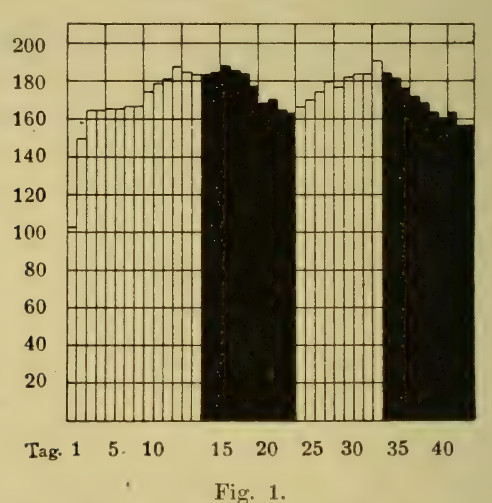


Fig. 1.

Die Einwirkung des Alkohols auf die Genauigkeit bei einer Präzisionsarbeit. Alkoholtage schwarz, alkoholfreie Tage weiß. Die Ordinaten geben die Zahl der Nadeln an, welche im Laufe von 20 Minuten eingefädelt wurden.

Tabelle I.

Erste Reihe ohne Alkohol.

Tag	Zahl der eingefädelten Nadeln				
	Periode I	Periode II	Periode III	Periode IV	Summa
1.	25	27	26	25	103
2.	35	39	38	38	150
3.	40	43	42	40	165
4.	39	41	42	43	165
5.	41	44	43	38	166
6.	41	42	42	41	166
7.	41	42	42	42	167
8.	42	43	42	40	167
9.	43	45	44	43	175
10.	44	46	45	44	179
11.	45	46	45	45	181
12.	48	49	47	44	188
13.	46	47	46	46	185
14.	46	47	46	45	184
Mittel	41·1	42·9	42·1	41·0	167·2

Tabelle I zeigt, wie die Leistungsfähigkeit infolge der Übung von Tag zu Tag zunimmt. Während des 1. Tages wurden nur 103 Fäden eingefädelt, während des 2. und 3. Tages aber 150 bzw. 165. Während der folgenden Tage nimmt das Arbeitsresultat noch immer allmählich zu und erreicht in ziemlich unregelmäßiger Steigerung am 12. Tage das Maximum von 188. Am 13. und 14. Tage ist das Resultat etwas schlechter, 185 bzw. 184.

Von vornherein konnte man erwarten, daß bei den einzelnen Versuchen die größte Arbeitsleistung während der ersten Periode erscheinen und daß die Prästation im Laufe der folgenden Perioden wegen der eintretenden Ermüdung wieder abnehmen sollte.

Dies ist indessen nicht der Fall, denn bei sämtlichen Versuchen wird das Maximum während der zweiten Periode erreicht.

Die Differenz zwischen der ersten und der zweiten Periode ist aber nur gering und beträgt bei den einzelnen Versuchen eine bis vier Nadeln, im Durchschnitt für alle 14 Versuche 1·8 Nadeln.

Die Ursache der Zunahme während der zweiten Periode liegt meines Erachtens wahrscheinlich darin, daß die durch die Arbeit während der ersten 5 Minuten stattgefundene Steigerung der Leistungsfähigkeit die gleichzeitig eintretende Ermüdung übertroffen hat.

Im Laufe der dritten und vierten Versuchsperiode verhält sich die Sache indessen ganz anders, indem jetzt die Ermüdung schneller als die Leistungsfähigkeit zunimmt, was sich durch eine Abnahme der Arbeitsmenge zu erkennen gibt. Während diese bei den zwei ersten Perioden durchschnittlich 41·1 bzw. 42·9 Nadeln beträgt, ist sie bei den zwei späteren Perioden 42·1 bzw. 41·0 Nadeln. Nur in einem einzigen Versuche (4. Tag) ist die Arbeit auch bei den zwei letzten Perioden gesteigert, und in einem anderen Versuche (7. Tag) bleibt die Arbeitsmenge bei den Perioden III und IV gleich groß wie bei der Periode II.

Wie oben erwähnt, wurden während der Alkoholtage nur 25 g Alkohol täglich verzehrt, und es ließ sich daher von vornherein annehmen, daß, wenn diese Alkoholmenge überhaupt irgendwelche Wirkung ausübte, diese sich erst nach einer verhältnismäßig langen Zeit offenbaren würde.

Diese Voraussetzung wurde durch die Erfahrung bestätigt: Während der ersten, 10 Tage dauernden Alkoholreihe (Tabelle II) wurde die Gesamtleistung im Laufe der drei ersten Tage (15., 16. und 17. Tag) von 184 auf 189 Nadeln erhöht. Während der zwei darauffolgenden

Tage nahm die Arbeitsmenge wieder auf 186 bzw. 184 ab. Da indessen eine entsprechende Abnahme auch bei der alkoholfreien Reihe (13. und 14. Tag) eintrat, ist diese Abnahme nicht ohne weiteres als eine Wirkung des Alkohols zu bezeichnen.

Tabelle II.

Erste Alkoholreihe.

Tag	Zahl der eingefädelten Nadeln				
	Periode I	Periode II	Periode III	Periode IV	Summa
15.	45	47	46	46	184
16.	46	47	46	46	185
17.	47	49	47	46	189
18.	45	47	48	46	186
19.	46	47	46	45	184
20.	44	47	45	41	177
21.	44	46	40	39	169
22.	43	45	44	39	171
23.	43	43	40	39	165
24.	43	43	40	38	164
Mittel	44·6	46·1	44·2	42·5	177·4
Mittel der Tage 15—19	45·8	47·4	46·6	45·8	185·6
Mittel der Tage 20—24	43·4	44·8	41·8	39·2	169·2

Dagegen läßt sich eine durch den Alkohol verursachte Abnahme der Leistungsfähigkeit vom 6. Alkoholtage (20. Tag des Versuches) an sicher nachweisen. An diesem Tage betrug die Zahl der eingefädelten Nadeln nur 177, und in weiterer Fortsetzung der Reihe fährt die Abnahme ziemlich regelmäßig bis auf ein Minimum von 164 Nadeln am 24. Tage fort.

Als eine Eigentümlichkeit mag hier erwähnt werden, daß es der Versuchsperson schien, als ob während der ersten Tage der Alkoholreihe die Arbeit langsamer als vorher vonstatten ging, obgleich das Resultat dennoch ebensogut wie während der letzten alkoholfreien Tage ausfiel. An den darauffolgenden Tagen erschien die Arbeit wieder wesentlich leichter, und ich erwartete auf Grund dessen, daß die Arbeitsmenge zugenommen hätte. Wie schon erwähnt, fand hierbei gerade das Gegenteil statt.

Bei den letzten Versuchen der Alkoholreihe bemerkte ich Zittern der Hände, sowie, daß sich eine zunehmende Ermüdung der Augen bei der Arbeit entwickelte.

Während der fünf ersten Alkoholtage verhält sich die Arbeitsmenge während der einzelnen Versuchsperioden in ganz derselben Weise wie bei den alkoholfreien Versuchen. Dementsprechend ist also die Arbeitsmenge während der II. Periode am größten (Durchschnitt 47·4 Nadeln) und sinkt während der vierten Periode auf die Größe der ersten (45·8 Nadeln).

Bei den drei folgenden Alkoholtagen (20. bis 22. Tag) ist die Zunahme während der zweiten Periode sogar größer als bei den fünf ersten Alkoholtagen; bei den zwei letzten Perioden erscheint aber eine so bedeutende Abnahme der Arbeitsmenge, daß diese in der vierten Periode durchschnittlich mit vier Nadeln kleiner ist als die der ersten Periode.

Die beiden letzten Alkoholtage (23. und 24. Tag) zeigen keine Zunahme während der zweiten Periode, und in der vierten Periode ist die Arbeitsmenge um 4 bzw. 5 Nadeln kleiner als die der ersten Periode.

Unter der Einwirkung des Alkohols tritt also die Ermüdung ausgeprägter als bei den Normalversuchen ein.

Tabelle III.

Zweite Reihe ohne Alkohol.

Tag	Zahl der eingefädelten Nadeln				
	Periode I	Periode II	Periode III	Periode IV	Summa
25.	43	42	41	41	167
26.	43	44	43	41	171
27.	44	46	43	42	175
28.	43	47	46	44	180
29.	44	46	45	43	178
30.	45	47	46	45	183
31.	46	47	46	45	184
32.	45	48	46	45	184
33.	48	49	47	47	191
Mittel	44·6	46·2	44·8	43·7	179·2
Mittel der Tage 25—27	43·3	44·0	42·3	41·3	171·0
Mittel der Tage 28—33	45·2	47·3	46·0	44·8	183·3

Vom 25. bis zum 33. Tage wurde der Alkohol weggelassen. Wie die Tabelle III ergibt, wurde dabei die Leistungsfähigkeit ziemlich rasch wieder gesteigert.

Die Arbeitsmenge, welche während der beiden letzten Alkoholtage 165 bzw. 164 Nadeln betragen hatte, steigt schon während des ersten

alkoholfreien Tages auf 167, um dann allmählich und ziemlich regelmäßig am 30. Tage auf 183 und am 31. und 32. Tage auf 184 zuzunehmen. Am 33. Tage erscheint eine ziemlich unerwartete bedeutende Steigerung auf 191 Nadeln.

Am ersten alkoholfreien Tage (25. Tag) hat die Arbeitsmenge, in voller Übereinstimmung mit dem Verhalten bei den letzten Alkoholtagen, ihr Maximum während der ersten Periode. Indessen ist die Abnahme während der folgenden Perioden nur gering, indem die Differenz zwischen der ersten und der vierten Periode nur zwei Nadeln beträgt.

Schon am folgenden Tage (26. Tag) ist die Arbeitsmenge der zweiten Periode größer als die der ersten, wenn auch andererseits die Arbeitsmenge der letzten Periode hier wie am 27. Tage zwei Nadeln weniger als die Arbeitsmenge der ersten Periode ausmacht.

Die übrigen sechs alkoholfreien Tage ergeben ganz dasselbe, wie die alkoholfreien Tage in der ersten Reihe. So nimmt die Gesamtleistung von durchschnittlich 45·2 bei der ersten Periode auf durchschnittlich 47·3 bei der zweiten Periode zu, um dann in der IV. Periode auf den Wert von 44·8 herabzusinken, der nur um 0·4 kleiner ist als der bei der ersten Periode erreichte

Tabelle IV.

Zweite Alkoholreihe.

Tag	Zahl der eingefädelten Nadeln				
	Periode I	Periode II	Periode III	Periode IV	Summa
34.	47	48	46	44	185
35.	46	48	45	43	182
36.	44	47	44	42	177
37.	43	45	42	43	173
38.	43	43	42	41	169
39.	43	42	40	39	164
40.	42	40	40	39	161
41.	42	42	40	39	163
42.	41	39	40	37	157
43.	42	40	39	36	157
Mittel	43·3	43·4	41·8	40·3	168·8

Wie schon bemerkt, betrug die Arbeitsmenge während des letzten alkoholfreien Tages (33. Tag) 191 Nadeln. Diese Zahl dürfte indessen nicht die normale Leistungsfähigkeit exakt angeben, sondern scheint, da die Arbeitsmenge der drei vorhergehenden Tage nur 183 bzw. 184

Nadeln betrug, etwas zu groß zu sein. Wenn also die Arbeitsmenge während des ersten Tages der zweiten Alkoholreihe nur 185 Nadeln beträgt, kann diese Zahl nicht gut als Ausdruck einer durch den Alkohol verursachten Abnahme der Leistungsfähigkeit aufgefaßt werden.

Eine derartige Abnahme läßt sich aber vom folgenden (35. Tage) an, wo die Arbeitsmenge auf 182 Nadeln herabsinkt, unzweifelhaft nachweisen. Hiernach vermindert sich die Leistungsfähigkeit unter dem Einfluß des Alkohols immer mehr, so daß während der beiden letzten (42. und 43.) Versuchstage nur 157 Nadeln innerhalb der festgestellten Versuchsdauer eingefädelt werden.

Zwischen den beiden Alkoholreihen tritt ein wesentlicher Unterschied zum Vorschein, indem die Arbeitsmenge während der zweiten Reihe vom zweiten Tage an abnimmt, während sie bei der ersten Reihe anfangs etwas ansteigt und erst vom 6. Tage an deutlich herabsinkt. Es scheint daher, als ob die schädliche Einwirkung des Alkohols während der eingeschobenen alkoholfreien Periode nicht vollständig abgeklungen, sondern wenigstens insofern zurückgeblieben wäre, daß der Organismus nun leichter als vorher dem Einfluß des Alkohols unterlegen ist.

Unter dem Einfluß des Alkohols verändert sich das gegenseitige Verhalten der Arbeitsmenge während der einzelnen Perioden eines Versuches bei der zweiten Alkoholreihe in ganz derselben Weise wie bei der ersten. Also ist die Arbeitsmenge bei den vier ersten Alkoholtagen (34. bis 37. Tag) während der zweiten Periode am größten; bei den folgenden Tagen ist die Arbeitsmenge der zwei ersten Perioden entweder gleich groß oder auch erscheint schon bei der zweiten Periode eine Abnahme der Leistung. Die Arbeitsmenge der vierten Periode ist durchschnittlich um 3 Nadeln kleiner als die der ersten.

Das Händezittern, das während der alkoholfreien Tage fast vollständig zurückgegangen war, erschien bei der zweiten Alkoholreihe mit einer ziemlich großen Intensität wieder. Desgleichen konnte ein erhöhtes Ermüdungsgefühl in den Augen bemerkt werden.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, daß ein täglicher Konsum von 25 ccm Alkohol im Laufe von wenigen Tagen die Fähigkeit, eine mechanische Präzisionsarbeit von der hier benutzten Art zu leisten, deutlich vermindern kann. Diese Verminderung scheint teils von einer

Abnahme der Leistungsfähigkeit an und für sich (die Arbeitsmenge nimmt in allen vier Perioden eines und desselben Versuches ab), teils davon bedingt zu sein, daß der Körper schneller als bei alkoholfreien Perioden ermüdet, was aus der Tatsache folgt, daß die Arbeitsmenge der letzten Periode im Verhältnis zu der Arbeitsmenge der ersten Periode unter dem Einfluß des Alkohols wesentlich abnimmt.

Eine gewisse Aufmerksamkeit scheint auch die Tatsache zu verdienen, daß eine Alkoholgabe von nur 25 ccm pro die eine deutliche Abnahme meiner Leistungsfähigkeit hat verursachen können, da ja zahlreiche Autoren der Ansicht sind, daß 25 ccm Alkohol ohne irgendwelchen schädlichen Einfluß auf die Leistungen des Körpers täglich genossen werden können.

Hierzu ist indessen zu bemerken, daß der bei meinen Versuchen benutzte Alkohol in ziemlich konzentrierter Form (25 Volumenprozent) genossen wurde. Da er außerdem nicht in unmittelbarem Anschluß an die Nahrungsaufnahme verzehrt wurde, muß er in ziemlich konzentrierter Form resorbiert worden sein. Unter solchen Umständen muß er offenbar eine verhältnismäßig kräftige Wirkung ausüben, und es scheint mir sehr gut möglich, daß das Resultat wesentlich anders gelautet hätte, wenn der Alkohol in stark verdünnter Form bzw. im Anschluß an eine reichliche Mahlzeit genossen worden wäre.

Auch ist es eine bekannte Tatsache, daß die Einwirkung des Alkohols auf verschiedene Individuen wesentlich verschieden sein kann, und es liegt ja die Möglichkeit vor, daß ich für dessen schädlichen Einfluß besonders leicht empfänglich gewesen bin.

Der Schwellenwert des Geschmackreizes bei einigen homologen und isomeren Verbindungen.[1]

Von

Yrjö Renqvist.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Helsingfors.

In meiner Abhandlung über den Geschmack habe ich die Schwellenkonzentration des Geschmackes bei einigen homologen Alkoholen und Ätheralkoholen sowie bei drei isomeren Ätheralkoholen bestimmt.[2]

Seitdem habe ich durch die Freundlichkeit des Herrn Dr. Palomaa, dem ich auch an dieser Stelle meinen tiefgefühlten Dank ausspreche, die Gelegenheit gehabt, noch eine ziemlich große Zahl anderer homologer und isomerer Verbindungen in dieser Hinsicht zu prüfen und dadurch meine früheren Versuche wesentlich zu erweitern. Die Zusammenstellung dieser neuen Erfahrungen ist Gegenstand der vorliegenden Mitteilung.

Die zu meiner Verfügung stehenden Substanzen waren:

1. Sechs verschiedene Alkylester der Zyanessigsäure, unter denen indessen zwei Paare isomere Verbindungen darstellten (Tab. I);

2. die Dimethyl- und Diäthylester der Oxal-, Malon- und Bernsteinsäure (Tab. II);

3. die einwertigen homologen Alkohole der Fettreihe vom Methyl- bis Oktylalkohol (Tab. III);

4. mehrere verschiedene isomere Ester einiger Äthersäuren.

---

[1] Der Redaktion am 14. September 1919 zugegangen.

[2] Renqvist, *Dies Archiv.* 1918. Bd. XXXVIII. S. 124.

Tabelle I.

Nr.	Chemische Formel	m	M	D_m	C_m	$D_m(K^{m-1}\cdot c_m)^{1/n}$	$D_m(K^{m-1})^{1/n}$
1	$CH_2(CN)COO\cdot CH_3$	1	99·06	0·69	0·041	0·47	0·69
2	$CH_2(CN)COO\cdot C_2H_5$	2	113·08	0·65	0·015	0·45	0·74
3	$CH_2(CN)COO\cdot C_3H_7$ n.	3	127·10	0·61	0·0068	0·44	0·80
4	$CH_2(CN)COO\cdot C_3H_7$ iso.	3	127·10	0·61	0·007	0·44	0·80
5	$CH_2(CN)COO\cdot C_4H_9$ n.	4	141·12	0·58	0·0059	0·47	0·86
6	$CH_2(CN)COO\cdot C_4H_9$ iso.	4	141·12	0·58	0·0067	0·47	0·86

Tabelle II.

Nr.	Chemische Formel	m	M	D_m	C_m	$D_m(K^{m-1}\cdot c_m)^{1/n}$	$D_m(K^{m-1})^{1/n}$
1	$COO\cdot CH_3$ | $COO\cdot CH_3$	1	118·06	0·64	0·023	0·52	0·635
2	$CH_2<^{COO\cdot CH_3}_{COO\cdot CH_3}$	2	132·08	0·60	0·033	0·53	0·638
3	$(CH_2)_2<^{COO\cdot CH_3}_{COO\cdot CH_3}$	3	146·10	0·57	0·023	0·52	0·644
4	$COO\cdot C_2H_5$ | $COO\cdot C_2H_5$	3	146·10	0·57	0·015	0·51	0·644
5	$CH_2<^{COO\cdot C_2H_5}_{COO\cdot C_2H_5}$	4	160·12	0·55	0·0092	0·51	0·654
6	$(CH_2)_2<^{COO\cdot C_2H_5}_{COO\cdot C_2H_5}$	5	174·14	0·52	0·0060	0·50	0·666

Tabelle III.

Nr.	Chemische Formel	m	M	D_m	C_m	$D_m(K^{m-1}\cdot c_m)^{1/n}$	$D_m(K^{m-1})^{1/n}$
1	$CH_3\cdot OH$	1	32·04	1·22	1·3	1·4	1·2
2	$C_2H_5\cdot OH$	2	46·06	1·02	0·70	1·5	1·8
3	$C_3H_7\cdot OH$ n.	3	60·08	0·89	0·25	1·3	2·7
4	$C_3H_7\cdot OH$ iso.	3	60·08	0·89	0·30	1·5	2·7
5	$C_4H_9\cdot OH$ n.	4	74·10	0·80	0·10	1·3	4·2
6	$C_4H_9\cdot OH$ iso.	4	74·10	0·80	0·12	1·4	4·2
7	$C_5H_{11}\cdot OH$ n.	5	88·12	0·74	0·05	1·5	6·7
8	$C_5H_{11}\cdot OH$ iso.	5	88·12	0·74	0·05	1·5	6·7
9	$C_6H_{13}\cdot OH$	6	102·14	0·68	0·017	1·4	10·5
10	$C_7H_{15}\cdot OH$	7	116·16	0·64	0·005	1·2	17·5
11	$C_8H_{17}\cdot OH$ n.	8	130·18	0·60	0·002	1·3	28·2
12	$C_8H_{17}\cdot OH$ iso.	8	130·18	0·60	0·002	1·3	28·2

Tabelle IV.

Nr.	Chemische Formel	M	c_m
1	$CH_3 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot CH_3$	104·08	0·082
2	$H \cdot O \cdot CH_2 \cdot O \cdot CO \cdot C_2H_5$	104·08	0·084
3	$C_4H_9 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot CH_3$	146·14	0·0017
4	$C_3H_7 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot C_2H_5$	146·14	0·0018
5	$C_2H_5 \cdot O \cdot CH(CH_3) \cdot COO \cdot C_2H_5$	146·14	0·023
6	$C_2H_5 \cdot O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot O \cdot CO \cdot CH_3$	146·14	0·022

Die Versuche fanden in derselben Weise wie meine früheren Versuche statt. Es wurden also durch Stichproben zwei Konzentrationen des zu prüfenden Stoffes ermittelt, bei denen keine Geschmacksempfindung bzw. ein deutlicher Geschmack auftrat. Durch Steigerung der einen Konzentration und Erniedrigung der anderen wurde dann die Schwellenkonzentration innerhalb immer engerer Grenzen eingeschlossen, bis der richtige Schwellenwert schließlich erreicht wurde. Für die in den Tabellen I, III und IV aufgenommenen Substanzen wurde der Schwellenwert zwei- oder dreimal bestimmt und aus den dabei gefundenen, untereinander gut übereinstimmenden Werten das in den Tabellen eingetragene Mittel berechnet. Für die Substanzen in der Tabelle II wurde der Schwellenwert nur einmal ermittelt.

In bezug auf die Alkohole (Tab. III) ist zu bemerken, daß die mit ihnen ausgeführten Bestimmungen nicht dieselbe Genauigkeit wie die übrigen beanspruchen können. Die Schwellenempfindungen treten nämlich bei ihnen nicht so scharf hervor, was wahrscheinlich auf das schnelle Hineindringen der Alkohole in die perzipierenden Zellen zurückzuführen ist.

Zum Zwecke der Schwellenbestimmung wurde von den zu untersuchenden Substanzen, welche alle, mit alleiniger Ausnahme des Dimethylesters der Oxalsäure, flüssig sind, zuerst eine Stammlösung in Wasser gemacht und diese dann weiter verdünnt. Wie in den früheren Versuchen, wurden bei jeder Prüfung 4 ccm Flüssigkeit benutzt.

Die Tabellen enthalten die chemischen Formeln der betreffenden Verbindungen, ihre Ordnungsnummer innerhalb der homologen Reihe (m) und ihre Molekulargewichte (M) sowie die nach der Gleichung

$$D_m = 6 \cdot 9 / \sqrt{M}$$

berechneten Diffusionskoeffizienten (D_m) und die molare Konzentration des Schwellenwertes (c_m).

Die in meiner früheren Mitteilung veröffentlichten Versuche ergaben, in guter Übereinstimmung mit der darin entwickelten theoretischen Anschauung, daß bei den daselbst benutzten homologen Verbindungen das Produkt $D_m (K^{m-1} \,.\, c_m)^{1/n}$ konstant war[1], sowie daß die Schwellenkonzentrationen des Geschmackes bei einigen isomeren Verbindungen gleich groß waren.

Aus den Tabellen I bis IV geht hervor, daß dies auch bei den meisten der hier untersuchten Verbindungen zutrifft.

Die durch Logarithmieren der untenstehenden Gleichung erhaltenen Zahlen liegen, wenn sie in ein Koordinatensystem eingetragen werden, bei der 1. Reihe (Tab. I) nicht ganz in einer Geraden, vielmehr ist ihre Verbindungslinie konkav nach oben. Bei der 2. Reihe (Tab. II) liegen die betreffenden Zahlenwerte fast genau in einer Geraden, und bei der 3. Reihe (Tab. III) verteilen sie sich mit kleinen Schwankungen oberhalb und unterhalb einer Geraden.

Der Adsorptionsexponent $1/n$ ist in der 1. Reihe $= 0 \cdot 12$, in der 2. Reihe $= 0 \cdot 055$ und in der 3. Reihe etwa $= 0 \cdot 5$.

Aus den Zahlen für c_m in der Tabelle I geht hervor, wie die Schwellenkonzentration mit steigendem Molekulargewicht der homologen Verbindungen abnimmt. Bei den isomeren normalen und iso-Propylestern (Nr. 3 und 4) sind die Schwellenkonzentrationen gleich groß. Bei den zwei isomeren Butylestern (Nr. 5 und 6) ist dies nicht ganz der Fall, wenn auch der Unterschied nicht groß ist.

Der sechste Stab ergibt, daß auch bei den zuletzt erwähnten Isomeren (Nr. 5 und 6) das Produkt $D_m (K^{m-1} \,.\, c_m)^{1/n}$ konstant ist. Da-

[1] $1/n$ bezeichnet hier den Adsorptionsexponenten, welcher mit Hilfe der Gleichung

$$c_1 : K \cdot c_2 : K^2 \cdot c_3 : \ldots K^{m-1} \cdot c_m = \left(\frac{1}{D_1}\right)^n : \left(\frac{1}{D_2}\right)^n : \left(\frac{1}{D_3}\right)^n : \ldots : \left(\frac{1}{D_m}\right)^n$$

graphisch bestimmt worden ist. Die Konstante K ist gleich 3. Vgl. Renqvist, a. a. O., S. 129.

durch könnte man zu der Auffassung kommen, daß die Schwellenkonzentration nur einen sehr geringen Einfluß auf dieses Produkt hätte. Indessen folgt aus dem letzten Stab der Tabelle, daß der Faktor $D_m (K^{m-1})^{1/n}$ bei den höheren Gliedern der Reihe immer größer wird. Es verändern sich also die Werte von c_m gerade in der Weise, als die Konstanz des Produktes $D_m (K^{m-1} . c_m)^{1/n}$ erfordert.

Bei den in der Tabelle II aufgenommenen Verbindungen ist die Schwellenkonzentration des ersten Gliedes (Nr. 1) offenbar zu niedrig. Die Schwellenkonzentrationen bei Nr. 3 und 4, welche isomer sind, weichen wesentlich voneinander ab. Sonst tritt auch bei diesen Verbindungen das regelmäßige Herabsinken der Schwellenkonzentration mit der Zunahme des Molekulargewichtes deutlich hervor.

Auch bei diesen Verbindungen ist der Wert des Produktes $D_m (K^{m-1} . c_m)^{1/n}$ bei allen Gliedern fast gleich groß.

Ferner sind hier die Werte des Produktes $D_m (K^{m-1})^{1/n}$ für alle Verbindungen etwa gleich groß. Der Einfluß von c_m auf das Produkt $D_m (K^{m-1} . c_m)^{1/n}$ muß also als ziemlich klein erachtet werden. Indessen ist zu bemerken, daß die Zahlen des letzten Stabes mit zunehmendem Molekulargewicht der Verbindungen regelmäßig ansteigen, während die des vorletzten im Gegenteil herabsinken, was zeigt, daß c_m dennoch einen deutlichen Einfluß auf das betreffende Produkt ausübt.

Bei den in der Tabelle III aufgenommenen Alkoholen sinkt die Schwellenkonzentration regelmäßig mit zunehmendem Molekulargewicht. Bei allen hier geprüften isomeren Verbindungen ist sie etwa gleich groß. Die Werte $D_m (K^{m-1} . c_m)^{1/n}$ stimmen untereinander gut überein, und aus dem letzten Stab erkennt man den verhältnismäßig sehr großen Einfluß der Schwellenkonzentration auf diese Funktion.[1]

Dieser Einfluß ist, wie selbstverständlich, um so geringer, je kleiner $1/n$ ist. In meinen früher mitgeteilten Bestimmungen, wie auch bei den vorliegenden Versuchen über die Alkohole, ist $1/n$ so groß, daß selbst sehr kleine Veränderungen der c_m-Werte große Veränderungen bei $D_m (K^{m-1} . c_m)^{1/n}$ hervorrufen.

Bei der Reihe 1, Tabelle I, ist $1/n$ schon kleiner, daher ist auch die Empfindlichkeit der Formel kleiner, und in der Reihe 2, Tabelle II, wo $1/n$ noch kleiner ist, wird die Empfindlichkeit der Formel sehr klein.

---

[1] Die Schwellenkonzentration des Methyl- und Äthylalkohols ist hier niedriger als die von mir früher gefundene. Die Ursache davon liegt in der Unreinheit der bei den früheren Bestimmungen benutzten Präparate.

Die in der Tabelle IV zusammengestellten Versuche über die Schwellenkonzentration einiger isomerer Verbindungen zeigen, daß die beiden ersten Isomeren (Nr. 1 und 2) einen gleich großen Schwellenwert haben. Die vier anderen (Nr. 3 bis 6) zeigen nur zu je zweien (Nr. 3 und 4, Nr. 5 und 6) eine derartige Übereinstimmung, indem die zwei letzten, welche mehr als eine Alkylgruppe zwischen den Sauerstoffatomen haben, einen etwa 13mal höheren Schwellenwert als die zwei ersten, welche in der gleichen Stellung nur eine Alkylgruppe haben, aufweisen.

Bei einigen unter den von mir geprüften isomeren Verbindungen habe ich auch die Oberflächenspannung gegen Luft bestimmt, um solcher Art zu untersuchen, ob diese bei den Schwellenkonzentrationen in der Tat gleich groß ist.

Hierbei wurde die Tropfenzahl der verschiedenen Lösungen ermittelt und daraus die Oberflächenspannung nach der Gleichung

$$\gamma = 73 \frac{n_1}{n_2}$$

berechnet, wo γ die Oberflächenspannung der Lösung, 73 die des reinen Wassers in dyne/cm bei 18° C, n_1 und n_2 die Tropfenzahlen des reinen Wassers ($n_1 = 97$) und der Lösung bezeichnen.

Die Resultate dieser Bestimmungen sind in den Tabellen V, VI und VII enthalten.

Tabelle V.

$t = 23^0$, $n_1 = 97$, $\gamma_{H_2O} = 72{,}3$.

Nr.	Chemische Formel	c_m	n_2	γ
1	$CH_2(CN)COO \cdot C_3H_7$ n.	0·0068	99	70·9
2	,, iso.	0·007	99·5	70·5
				($t = 18^0$ C)
3	$CH_2(CN)COO \cdot C_4H_9$ n.	0·0059	108	65·6
4	,, iso.	0·0067	112	63·2

Aus der Tabelle V geht hervor, daß die Oberflächenspannungen bei den Schwellenkonzentrationen der isomeren Propylderivate der Zyanessigsäure (Nr. 1 und 2) gleich groß sind. Bei den Butylderivaten (Nr. 3 und 4) kommt ein kleiner Unterschied vor.

Auch sieht man, wie die Oberflächenspannungen bei den letzteren kleiner sind als bei den Propylderivaten.

Tabelle VI.

$t = 23^0$, $n_1 = 97$, $\gamma_{H_2O} = 72 \cdot 3$.

Nr.	Chemische Formel	c_m	n_2	γ	n_2	γ
1	$(CH_2)_2<\begin{matrix}COO \cdot CH_3 \\ COO \cdot CH_3\end{matrix}$	0·023	102	68·8	99	70·9
2	$\begin{matrix}COO \cdot C_2H_5 \\ \vert \\ COO \cdot C_2H_5\end{matrix}$	0·015	104	67·5	106	66·2

Aus der Tabelle VI folgt, daß, obgleich bei den dort aufgenommenen Isomeren die Schwellenkonzentrationen verschieden sind, die Oberflächenspannungen sich nur sehr wenig voneinander unterscheiden. Die zwei letzten Stäbe der Tabelle geben die Tropfenzahlen und die Oberflächenspannungen, wenn die Konzentrationen der Lösungen gewechselt werden, für Nr. 1 0·015 und für Nr. 2 0·023. Nun ist von einer Übereinstimmung der Oberflächenspannungen keine Rede: die Konzentrationen der beiden Lösungen stehen auch nicht mehr in dem Verhältnis, bei welchem sie den Reizschwellen entsprechen.

Tabelle VII.

$t = 18^0$, $n_1 = 97$, $\gamma_{H_2O} = 73$.

Nr.	Chemische Formel	c_m	n_2	γ	c	n	γ
1	$CH_3 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot CH_3$	0·082	102	69·4			
2	$H \cdot O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot O \cdot CO \cdot CH_3$	0·084	103	68·8			
3	$C_4H_9 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot CH_3$	0·0017	103	68·8	0·022	141	50·2
4	$C_3H_7 \cdot O \cdot CH_2 \cdot COO \cdot C_2H_5$	0·0018	102	69·4	0·022	122·5	57·8
5	$C_2H_5 \cdot O \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot O \cdot CO \cdot CH_3$	0·022	104·5	67·7	0·0017	98	72·3
6	$C_2H_5 \cdot O \cdot \overset{\overset{CH_3}{\vert}}{C}H \cdot COO \cdot C_2H_5$	0·023	114·5	61·8	0·0017	99	71·5

Ein besonderes Interesse bietet die Bestimmung der Oberflächenspannung bei den in Tabelle IV zusammengestellten Verbindungen dar (vgl. Tab. VII). Die Oberflächenspannungen der Schwellenkonzentrationen bei den zwei ersten isomeren Substanzen (Nr. 1 und 2) sind etwa gleich groß. Unter den vier anderen Verbindungen (Nr. 3—6),

von denen Nr. 3 und 4 einen 13mal niedrigeren Schwellenwert als Nr. 5 und 6 haben, haben Nr. 3—5 bei der Schwellenkonzentration eine gleich große Oberflächenspannung, Nr. 6 aber eine wesentlich kleinere.

Die zwei letzten Stäbe geben die Oberflächenspannungen dieser vier Verbindungen Nr. 3—6 beim Wechsel der Konzentrationen des ersten und zweiten Paares an. Nr. 5 und 6 haben nun die gleiche Oberflächenspannung, aber sonst zeigen die Zahlen keine Übereinstimmung.

Die Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers im menschlichen Auge bei einigen pathologischen Zuständen.[1]

Von

J. W. Nordenson.

In einer früheren Arbeit[2] habe ich die Resultate einer Reihe von Versuchen vorgelegt, welche zeigten, daß die vordere Grenzschicht des Glaskörpers beim Menschen mit dem Alter für Flüssigkeit weniger durchlässig wird. In jenen Versuchen wurde an Leichenaugen physiologische Kochsalzlösung bei einer Druckhöhe von 85 cm durch die vordere Grenzschicht des Glaskörpers durchfiltriert und dabei die Größe der während einer Zeitperiode von 30 Min. durchflossenen Flüssigkeitsmenge gemessen. Dieselbe war im Durchschnitt:

Bei Versuchspersonen	unter 15 Jahren	230 cmm.
	von 15—55 „	187 „
	über 55 „	152 „

Die Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers nimmt also mit dem Alter der Versuchspersonen ab. Für nähere Angaben über die Technik der Versuche und über die Zuverlässigkeit der bei denselben erhaltenen Resultate, sei auf die betreffende Arbeit hingewiesen.

Es stellt sich nun die Frage, wie es sich mit der Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht bei gewissen pathologischen Zuständen verhält. Diese Frage ist nicht ohne Interesse, da es ja denkbar ist, daß

[1] Der Redaktion am 6. März 1920 zugegangen.

[2] J. W. Nordenson, Über die Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers beim Menschen in verschiedenen Lebensaltern. *Skandin. Arch. f. Physiol.* Bd. XXXVII. 1919.

eine Verminderung der Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers auf die Höhe des Druckes im Auge einen Einfluß haben kann. So läßt es sich ja denken, daß die Erhöhung des Druckes bei entzündlichen Vorgängen in den inneren Häuten des Auges ihren Grund in einem Zustopfen der Poren der vorderen Grenzschicht haben kann. Desgleichen hat man versucht, das Glaukom als eine durch Verstopfen der genannten Poren durch Eiweißpartikelchen — Uribe y Troncoso[1] — oder bei hämorrhagischen Zuständen durch Blutkörperchen — Priestley Smith[2] — entstandene Krankheit zu erklären. Schließlich sei erwähnt, daß Priestley Smith[3] bei Glaukom eine Verdichtung der vorderen Grenzschicht gefunden hat, obwohl er dieser Tatsache keinen Einfluß auf den intraokulären Druck zuerkennt. Unter solchen Umständen scheint eine Untersuchung der Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht bei diesen pathologischen Zuständen nicht aus dem Wege.

Es wurden also Filtrationsversuche an Augen mit entzündlichem Exsudat und Blut im Glaskörper und an von Glaukom leidenden Augen angestellt. Die Technik der oben angegebenen Untersuchung wurde dabei streng verfolgt.

Von Augen mit entzündlichem Exsudate wurden zwei untersucht. Es waren Augen, in denen ein Fremdkörper in den Glaskörper durch die Sklera hinter den Ziliarkörper gedrungen war, und in denen also keine Läsion der vorderen Grenzschicht zu befürchten war. Beide Augen wurden wegen Glaskörperabszeß zur Verhütung einer sympathischen Ophthalmie des anderen Auges enukleiert. Binnen zwei Stunden nach der Enukleation wurden dieselben untersucht. Die Versuchspersonen gehörten zur Altersgruppe 15 bis 55 Jahre. Die mit Rücksicht auf die Temperatur korrigierten Werte für die in $1/2$ Stunde durchflossenen Flüssigkeitsmengen waren 134 bzw. 148 cmm. In beiden Fällen lagen die Werte deutlich unterhalb der Mittelzahl für die betreffende Altersgruppe, 187 cmm. Diese Verminderung der durchflossenen Flüssigkeitsmenge dürfte wohl ihren Grund in dem Zustopfen der Poren durch Exsudat haben. Im ersten Auge war der Druck vor der

---

[1] Uribe y Troncoso, Recherches expérimentales sur la filtration de liquides salins et albumineux à travers la chambre antérieure et son rôle dans la génèse du glaucome. *Ann. d'ocul.* T. CXXXIII. p. 401.

[2] Priestley-Smith, Glaucoma problems. Ophth. Rev. 1911. p. 101.

[3] Derselbe, On the pathology and treatment of glaucoma. London 1891. p. 130.

Operation 35 mm Hg (Schiötz). Im zweiten wurde derselbe nicht gemessen. Leider war es nicht möglich, mehrere Augen dieser Art zur Untersuchung zu bekommen, da in den meisten Augen, die wegen Iridocyklitis nach Fremdkörpern enukleiert werden, auch die vordere Grenzschicht des Glaskörpers geschädigt ist.

Von Glaukomaugen wurden 8 untersucht, darunter 2, die an Glaucoma simplex litten. Diese gehörten einem 68 Jahre alten Patienten im Krankenhause St. Erik an, und wurden an der Leiche in situ 16 Stunden nach dem Tode untersucht. Das Resultat war für die beiden Augen 136 und 144 cmm. Der vor dem Tode gemessene intraokulare Druck war 45 bzw. 39 mm Hg (Schiötz).

Die übrigen 6 Glaukomaugen waren alle solche, die wegen absoluten Glaukoms enukleiert waren. In keinem Falle waren dieselben vorher operiert worden. Die Augen wurden sämtlich binnen spätestens drei Stunden in Arbeit genommen. Folgende Resultate wurden erhalten:

Patient	Alter (Jahre)	Geschlecht	Im Verlaufe von 30 Minuten ausgeflossene Flüssigkeitsmenge
G. Z.	67	M.	72 cmm
H. A.	36	M.	132 ,,
H. J.	64	Fr.	460 ,,
F. J.	74	M.	28 ,,
J. S.	63	M.	119 ,,
G. A.	68	M.	150 ,,

Von diesen Versuchspersonen gehörte also eine der Gruppe 15 bis 55 Jahre an, die übrigen der Gruppe über 55 Jahre. Das für jene Person (H. A.) erhaltene Resultat, 132 cmm, unterstieg also in nicht zu verkennender Weise den Durchschnittswert für die Gruppe, 187 cmm. Für die übrigen Augen war die Mittelzahl 165 cmm, was dagegen die Mittelzahl der betreffenden Gruppe für normale Augen, 152 cmm übersteigt. Indessen soll bemerkt werden, daß von den Werten dieser Gruppe ein einzelner besonders hoch ist, indem derselbe 460 cmm beträgt. Einen so hohen Wert, der das Dreifache der Mittelzahl für normale Augen der Gruppe übersteigt, bekommt man bei Untersuchungen an normalen Augen nie, und derselbe ist so abnorm hoch, daß man wohl in Frage stellt, ob nicht bei diesem Versuche irgendwelcher Riß an der vorderen Grenzschicht entstanden wäre. Läßt man denselben fort, was nicht unberechtigt erscheint, wird die Mittelzahl 93 cmm, was

ja recht niedrig ist und die Mittelzahl für gesunde Augen derselben Gruppe, 152 cmm, bedeutend untersteigt. Die Gefahr eines Risses an der vorderen Grenzschicht ist bei diesen Versuchen immer sehr groß und eine Durchlässigkeit, welche bei denselben einen Wert von 460 cmm ergeben würde, kommt bei normalen Augen nie vor, nicht einmal in der jüngsten Altersgruppe. Von weit größerer Tragweite sind die niedrigen Werte in den Versuchen G. Z. und F. J. Bei normalen Augen wurden in einer großen Reihe von Untersuchungen niemals auch entfernt so niedrige Werte erhalten. Unter solchen Umständen scheint es als ausgeschlossen, daß dieselben von einer zufälligen mechanischen Zustopfung oder Absperrung im Apparat herrühren könnten, sondern dürfte man sie einer verminderten Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht zuschreiben können. — Es dürfte wohl daher der Schluß berechtigt sein, daß bei Glaucoma absolutum die Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers deutlich herabgesetzt ist.

Die Untersuchung hat also ergeben, daß die Durchlässigkeit der vorderen Grenzschicht des Glaskörpers beim Vorhandensein von Eiter und Blut im Glaskörper und bei Glaucoma simplex sowie bei Glaucoma absolutum herabgesetzt ist; doch erlaubt selbstverständlich die geringe Zahl der zur Verfügung gestandenen Augen nur eine recht vorsichtige Anwendung dieses Schlusses.

Contributions to the localisation of „sweet smell“.[1]

By

E. Rocén.

(From the Physiological Laboratory of the University, Upsala)

Even Kant, the philosopher, pointed out in his anthropology the intimate connection that exists between our sensations of smell and taste and how difficult it may sometimes be to distinguish them. And n our own times the analytical investigation of the two „chemical senses“ of man is still at a stage when there are sensations of which it is uncertain whether they have the character of smell or taste or both at the same time. Among these is the „sweet smell“.

Complicated smell and taste sensations may be conceived as arising in at least three different ways:

a) First, — when substances are put in the mouth — by stimulation of the taste bulbs in the mouth in the first place, the olfactory epithelium in the nasal cavity in the second place. Zwaardemaker's „riechend Schmecken“ corresponds to this.

b) Secondly, — when substances are inhaled through the nostrils — by stimulation of the olfactory epithel um in the cavum nasi in the first place, of the taste bulbs in the mouth in the second place. This case corresponds to what Zwaardemaker calls „gustatorisches Riechen“.

c) Thirdly, — when fumes of the substance enter the nasal cavity — by stimulation both of the olfactory epithelium and of possibly existing organs of taste in the cavum nasi.

In „riechend Schmecken“ one can with comparative ease distinguish the primary and the secondary sensations, either by plugging

---

[1] Der Redaktion am 4. Januar 1920 zugegangen.

the posterior nose openings or, most easily, by shutting the front ones with two fingers. In both cases the substance is prevented from penetrating in the olfactory epithelium, in the former case directly, in the latter case indirectly owing to stagnation of the air in the cavum nasi, which seems to render the perception of smell impossible, as diffusion from the mouth to the olfactory epithelium requires too long a time.

In the case of „gustatorisches Riechen" the problem is much more difficult of solution. To employ the same methode here, as, curiously enough, a few investigators have attempted, seems, of course to be of little value. For even if the tested substance gave only a sensation of smell, it would scarcely arise when the choanae were plugged, for the reason already mentioned, namely that the diffusion demands too much time. A test made according to this method seems to me therefore to be of no value, especially if nothing at all is done to drive the fumes through the front nose openings.

The differentiation seems to be still more difficult in the third case.

We know that organs of taste exist not only on the tongue but also on the palate and on the posterior side of the epiglottis. There are thus organs of taste even in the path that the inha ed air normally passes.

A way of investigating whether organs perceptive of sweet taste are also connected with the perception of sweet smell has been obtained by a discovery, made originally by Edgeworth, that a decoction of the leaves of Gymnema sylvestre paralyzes the organs for perception of sweet taste. Kiesow and Rollett have already used this method to investigate the conditions of sweet smell.

Curiously enough, only the „sweet smell" of chloroform has been subjected to a careful investigation. Rollett and Zwaardemaker pointed out and discussed almost simultaneously (1899) the sensation of sweetness produced by the odour of chloroform when inhaled through the nose. Rollett then analysed the total sensation by means of several experiments on himself and found that he could divide it partly into ethereal smell and sweet taste and partly into sensations of cold and pain. He also tried to localize these components to definite areas by testing the alterations in quality of the smell of chloroform when different parts of the sensitive areas were paralyzed. His experiences were as follows: during anosmia the ethereal smell disappeared, during anaesthesia for sweetness in the mouth and throat and on the upper side

of the velum palatinum he thought he found a disappearance of the sweet component. R. thus came to the conclusion that the sensation of sweetness in the smell of chloroform was really a sensation of taste, arising especially from the upper side of the velum palatinum and from the throat and mouth.[1] — It ought to be mentioned that in Rollett's experiments paralysis was produced by a solution of 5 % gymnemic acid in 58 % spirit. It is true that the parts were washed with water afterwards, but as I know from my own experience that the chemical and mechanical stimulation of gymnemic acid, especially on the velum palatinum, is rather strong even in a 0,5 % solution of water, I venture to say decidedly that a so acrid anaesthetizing liquid as that used by Rollett is unsuitable. Rollett himself admits too that the flushing of the nose was accompanied by violent sneezing and there soon followed not merely the disappearance of the sweet component but total anosmia. It seems to be scarcely legitimate to conclude from this that the sweet component is derived from the organs of taste on the velum palatinum. — Zwaardemaker has investigated, among other things, the relations of the threshold values of the two components to each other and found that the threshold of the sweet component was considerably greater than the ethereal one. Supported by this experiment and by an observation made by Fick (according to Zwaardemaker) to the effect that the sweet sensation of chloroform only makes itself felt when the odour is allowed to pass in through the front part of the outer nose apertures and the front part of the nasal cavity up to the canalis sup. nasi, which supports the olfactory epithelium, he considers it most probable that the sweet component of the chloroform odour is also derived from the Regio olfactoria, but from specific organs there, which might possibly be identical with Disse's „Epithelknospen". Later investigations by Zarniko have shown, however, that the „epithelial buds", which as a matter of fact have not been proved to exist in man, only show an external resemblance

[1] It would follow from this that the upper side of the velum palatinum is also sensitive to „sweet". As far as I know, however, it has not been proved that organs of taste occur here. Still I have allowed for this possibility too in my investigation. According to my observations, a flushing of the floor of the nasal cavity with a solution of sugar causes a perception of sweetness in the vicinity of the velum palatinum even after the most thorough gargling with gymnemic acid. On the other hand this sensation ceases if the base of the nasal cavity is also washed with gymnemic acid.

to taste bulbs. Their internal structure rather suggests the nature of glands.

Kiesow, who has carried out a great many investigations on the taste-perceiving organs in the mouth and throat, has, like Rollett, made use of the effects of gymnema and tested with chloroform. He found (according to Gradenigo) that the sweet sensation of chloroform also made itself felt when the mouth and throat were rendered anaesthetic to sweetness.

Beyer and Nagel have employed the above-mentioned method of trying to localize the sweet component of chloroform by closing up the posterior nose openings. Beyer got a girl with her choan shut on one side to test the smell from a bottle of chloroform which was moved past her nostrils. She then felt a sensation of sweetness only in that nasal cavity from which the connection was open to the throat. Nor did Nagel find any sensation of sweetness when the choanae were closed by pronouncing a vowel. Both these investigators conclude from their experiments that the sweet sensation arises from the mouth and the throat. As is mentioned above, however, little or nothing seems to be proved by such experiments. When Zwaardemaker sent chloroform gas intermittently through the nose under the same conditions in other respects as Nagel, he obtained an opposite result, i. e. retention of the sensation of sweetness, while Nagel felt no such sensation even in this case. These contradictory results of course indicate the unreliability of the method of investigation, as such great individual differences are improbable.

The majority of the investigators who have been occupied with this branch of the physiology of smell thus seem to be of the opinion that the sweet sensations of chloroform arise in the throat or the mouth or in the velum palatinum. The localisation varies to some extent even here. Rollett assigns it to the velum palatinum and the throat, Nagel principally to the upper and posterior wall of the throat. They have all confined their experiments to chloroform, not using any other materials, and usually pure concentrated chloroform, not any diluted form of it. For several reasons, however, it may be difficult to test the conditions of smell of a material when used in such a concentrated form. In the first place the sense of smell very soon becomes tired; in the second place a volatile and strongly irritating material such as chloroform produces, if it enters the nasal cavity in the form of concentrated fumes, strong local secondary effects: pricking sen-

sations, perceptions of pain and pressure, excitation of cold, etc. These factors naturally concur to make the analysis of the perception of smell and taste difficult.

The attempts to localise the sweet smell which are described in the present work were carried out by a quantitative method. The plan for this was suggested by Prof. G. Göthlin, who kindly helped me with good advice and instructions during the whole of the work, and for this I wish to tender him my most cordial thanks.

Plan and methods of work.

If the sweet component in chloroform is a component of taste we may expect it to originate in any of the mucous membranal areas that contain bulbs of taste, and with the same assumption, if the paralysis of the organs of taste is extended over a greater and greater part of the sensory surface of taste, the sensation of sweetness ought to become more and more indistinct and should finally disappear. If, on the other hand, it turns out that, after total paralysis of all the organs of taste that are perceptive of sweetness, the threshold value for the „sweet smell“ remains unaltered, this seems to be a strong proof that the sensation of sweetness arises mainly from the region of smell. This idea led me to try to discover, by determinations of the minimum perceptibile for different substances with a sweet smell, partly under normal conditions, partly after gargling the mouth with a solution of gymnemic acid and partly after similar gargling and also flushing of the whole floor of the nasal cavities and the upper side of the velum palatinum, how great was the part played by the respective areas just mentioned in the origin of the sensation of sweetness. The determinations were made by means of an arrangement of apparatus described below and specially constructed by Prof. Göthlin for this purpose.

It consists, as will be seen from Fig. 1, of three bottles (1, 2 and 3), connected with each other; 1 and 2 each hold somewhat over 3 litres, the third, on the other hand, may be any size. Bottle no. 1 is graduated from the top down to 3 litres and has an opening at the top about 5 cm wide and a small tube inserted near the bottom, emerging at the side. In this bottle the odorous substance is vaporized. In the upper wide opening of the bottle a cork boiled in paraffin is fitted as tightly as possible; through this pass the nose cannula, which is 1 cm wide and may be closed at its outer end by a stopper of ground glass, the

stirrer, a narrow steel wire, ending at the bottom with a brass spiral spring and furnished at the top with a screw clip, by means of which it can be twisted round, and the vaporizing apparatus, a „dipping heater" for electric heating, which is ring-shaped at the bottom, so that a bowl with the substance in it can be placed on the ring. The „smelling bottle" was calibrated with all the above-mentioned parts mounted in it. The tube at the side of the bottle is connected by means of a thoroughly boiled india-rubber tube with bottle no. 2, a Woulff's

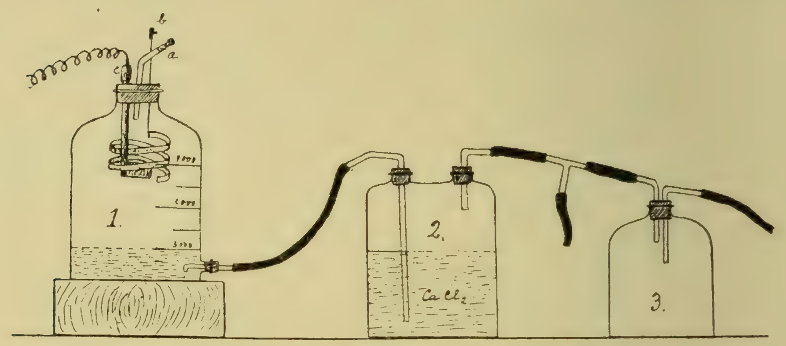


Fig. 1.

Explanation: a = nose cannula. b = stirrer. c = heating apparatus.

bottle, filled with a saturated solution of absolutely odourless $CaCl_2$. From this a tube passes to the „pressure bottle", which is connected by a leaden pipe to a water-blast.[1] Between the $CaCl_2$ bottle and the pressure is inserted a T-shaped tube with a side-conduit.

At the beginning of the experiment the liquid in the smelling bottle and the $CaCl_2$ bottle, which communicate with each other, is at the same level. The level in bottle I is such that the quantity of air above is exactly 3 litres. A drop or crystal of the substance having been accurately weighed on a small bowl-shaped glass membrane, it is rapidly transferred to the bowl in the heating apparatus and the bottle is closed and, if desired, a layer of paraffin put round the cork. The contact of the vaporizing apparatus is now closed and is not opened

[1] One of the purposes of the pressure bottle was, if, owing to too high pressure in the blast, the water should percolate into the leaden pipe, to catch this water so that it should not run into the $CaCl_2$ solution.

before the substance is completely vaporized. The time needed for this was found for each substance beforehand and var ed between 10 und 15 minutes. After complete vaporization has taken place the air and the odorous vapeur in the bottle is mixed by careful stirring and, after waiting a little while longer for cooling, the threshold determination itself begins.

The principle for this is to try to discover, by means of repeated dilution, the threshold concentration of the sensation of sweetness from the vaporized substance. This ,,dilution“ is carried out as follows: the blast is screwed on, the side tube between the $CaCl_2$ bottle and the pressure bottle is closed by means of a péan, which causes the $CaCl_2$ solution to be pressed in from bottle no. 2 to the smelling bottle and the mixture of air and odour in the latter to be pressed out, when the stopper is taken out, through the open cannula. During this time it is tested whether the sensation of sweetness can be distinguished. When the level of the liquid has reached the desired height, the cannula is closed, the péan is moved from the side tube to the tube between the $CaCl_2$ bottle and the smelling bottle. The air from the blast now passes out through the side tube and the level of the liquid in bottle I is constant. When the vapour that has escaped into the room has been removed by a transverse draught, the cannula is opened again and the péan is moved to the tube between the T-tube and the pressure bottle. The liquid now sinks and a corresponding amount of fresh air is drawn until the level in the communicating bottles has become the same again; then the péan is moved once more to the tube between the smelling bottle and the $CaCl_2$ bottle, the cannula is closed and the now diluted odorous gas is stirred.

The degree of dilution can be doubled each time by means of this apparatus (i. e.: original level 3000 cm^3 — raised to 1500 cm^3 — lowered to 3000 cm^3), but it can also be made smaller, down to $^{30}/_{29}$. When the minimum perceptibile is reached, its value l is calculated according to the following formula:

$$l = \frac{P \cdot S^n}{V \cdot m}$$

where P = the weight in grammes of the vaporized substance, S = the fractional part of the preceding volume of gas that remains after each dilution, n = the number of dilutions before the threshold is reached, V = the original volume of gas in the smelling bottle expressed in litres and m = the molecular weight of the substance. The threshold

value is then obtained expressed in gramme molecules per litre of air. — By means of this procedure one can in a relatively short time decrease the original quantity of the vaporized substance in the bottle to an exceedingly small fraction of its former value. One must, however, bear in mind that the longer the experiment lasts the greater will be the importance of the source of error that arises from the adhesion of particles of the substance to the walls of the bottle and in the cannula. The threshold value was usually reached in an hour or somewhat more. By using still smaller weights of the substance the method allows, of course, the threshold to be reached in a considerably shorter time than that taken in the experiment. — The $CaCl_2$ solution used for expelling the air mixed with the odorous substance was boiled and „aired" between each experiment. This proved to be specially necessary after experiments with benzaldehyde and octylalcohol. The smelling bottle and the $CaCl_2$ bottle were washed with water repeatedly and the former dried carefully inside, partly with a towel, partly by blowing air through it by means of a blast for two to three hours or more; the cannula, stirrer and the „dipping heater" were also washed and dried between each determination. Among the advantages of this method the fact that one is able to carry out a determination of the threshold with a single weighing deserves special mention. The method is therefore specially suitable for substances which are only to be obtained in very limited quantities. A further advantage of the method is that one can use the odorous substance in its original form and need not prepare a solution of it. As a final advantage must be mentioned the fact that, by always arranging the blast at the same manometric pressure, one is able to obtain in the separate experiments the same rapidity for the stream of odorous gas through the nasal cavity, provided one does not inhale oneself. A disadvantage of the method is that the space in the smelling bottle is partly bounded by the $CaCl_2$ solution and by the glass walls which are moistened by this. Experience has shown that some of the tested substances were absorbed to a slight extent by the $CaCl_2$ solution, so that, after the conclusion of an experiment, the latter was no longer quite odourless. The reliabilty of the threshold values obtained by this method can, however, be judged by the extent of variation in the values. It is true that in my experiments this was certainly comparatively great (100—200 %), but in this case this state of affairs is easily explicable when one remembers that it is the threshold of one component in the total sensation that is being deter-

mined, which is naturally a much more difficult and delicate task than the determination of the threshold of smell as a whole. The substances were weighed on a balance that reacted distinctly for $^1/_{20}$ mgm. Slight inaccuracies in weighing are reduced to a great extent by dilution.

E. Louis Backman has discovered and shown in his „Experimentella undersökningar öfver luktsinnets fysiologi" (Experimental investigations on the physiology of the sense of smell) that the sensation of smell in perfusion through the nasal cavity is only noticeable at the beginning and the end of the perfusion. With respect to this I arrived at corresponding results in as much as I found that the sensation of smell disappeared after a short period of perfusion. But the duration of the sensation is quite sufficient for one to perceive it.

The solution of gymnemic acid used in my experiments was a 0·5 % solution in water, neutralised by means of a diluted NaOH solution. Before and after gargling the existence or disappearance respectively of the sweet sensation was tested by means of a solution of sugar. The floor of the nasal cavity was in the same manner washed with the solut on of sugar by means of a so-called „drop-tube", then with gymnema and afterwards with the sugar solution once more:. . . Before treatment with the acid a distinct sweet sensation was then noticed; afterwards it disappeared.. Not only this was tested at the beginning of each experiment, but fresh garglings and washings were carried out frequently during the process of the experiment. All the experiments were carried out at the temperature of the room (15°—20° C). The excess of pressure used to force the $CaCl_2$ solution into the smelling bottle varied from 2—3 kg per cm². The rapidity of the flow was over 1 liter per minute through the cannula, whose internal diameter, as mentioned above, was about 1 cm. The rate of flow in the cannula was thus about 2 dm per second.

Results of measurements.

The substances for which the determination of the threshold was carried out were chloroform, bromoform, benzaldehyde, octylalcohol and anethol. In the case of chloroform three determinations were made under normal conditions, two after gargling and two after gargling plus washing. A determ nation under normal conditions appears as follows in the extract from the records:

Chloroform: $P = 0 \cdot 058$ gr. Blast (manometer) pressure 2·6 kg. Temp. 15° C.

Number of test	Concentration, expressed as a fractional part of that present at the previous test	Result of test
1	1	Very sweet smell
2	1 : 2	Very sweet smell
3	1 : 2	Sweet smell
4	1 : 2	Weak sweet component
5	2 : 3	Very weak sweet component
6	2 : 3	Disappearance of the sweet component; The ethereal sensation remains
7	2 : 3	Ethereal sensation remains
8	2 : 3	Total disappearance of smell

$$1_1 = \frac{0 \cdot 058 \cdot 2}{118 \cdot 3 \cdot 2^3 \cdot 3} = 1 \cdot 4 \,.\, 10^{-5} \text{ for the sweet component,}$$

$$1_2 = \frac{0 \cdot 058 \cdot 2^3}{118 \cdot 3 \cdot 2^3 \cdot 3^3} = 6 \cdot 1 \,.\, 10^{-6} \text{ for the sweet sensation as a whole.}$$

The result of this determination thus was that the sweet component in the smell of chloroform was still perceptible after a dilution of $1 \cdot 4 \,.\, 10^{-5}$ gr-mol. per liter of air. The other results show slight variations and are contained in the following table (table 1, p. 139).

To judge from the results obtained, the paralyzing effect of gymnema on the sweet-perceptive organs in the mouth, threat, and, as far as the perception of sweetness by the taste bulbs can be assumed there, at the floor of the nasal cavity, seems to have no effect at all in increasing the threshold value for the perception of sweetness of inhaled chloroform. The variations that occur between the average values on the different occasions fall entirely within the general range of variation. This in its turn seems to indicate that the perception of sweetness in question is not produced in any of the areas mentioned, but from the Regio olfactoria oı possibly higher parts of the Regio respiratoria.

Bromoform, the substance closely related to chloroform, also showed a comparative agreement between the threshold values before and after treatment with gymnema (table 2, p. 140).

Table 1: Chloroform.

I. Minimum perceptibile under normal conditions					II. Minimum perceptibile after gargling					III. Minimum perceptibile after gargling and washing				
p. gr	t	g	n	mp	p. gr	t	g	n	mp	p. gr	t	g	n	mp
0·058	30	1 : 2 2 : 3	3 1	$1{\cdot}4 \, . \, 10^{-5}$	0·070	40	2 : 3 5 : 6	4 2	$2{\cdot}7 \, . \, 10^{-5}$	0·116	35	1 : 2 2 : 3	3 1	$2{\cdot}7 \, . \, 10^{-5}$
0·046	25	2 : 3	4	$2{\cdot}5 \, . \, 10^{-5}$										
0·092	35	2 : 3 5 : 6	5 2	$2{\cdot}4 \, . \, 10^{-5}$	0·091	40	1 : 2 2 : 3	3 2	$1{\cdot}4 \, . \, 10^{-5}$	0·093	45	1 : 2 2 : 3 5 : 6	2 2 2	$2{\cdot}0 \, . \, 10^{-5}$
Average $= 2{\cdot}1 \, . \, 10^{-5}$					Average $= 2{\cdot}0 \, . \, 10^{-5}$					Average $= 2{\cdot}35 \, . \, 10^{-5}$				

Temperature of the room $= 15^0 - 17^0$ C. — Blast pressure $= 2{\cdot}4 - 2{\cdot}7$ kg per cm².

Explanation of terms: t = time (minutes) taken to reach the threshold

g = the degree of the separate dilutions expressed as a fraction of the preceding concentration.

n = the number of such dilutions.

mp = minimum perceptibile for the sweet component.

Table 2: Bromoform.

I. Minimum perceptibile under normal conditions					II. Minimum perceptibile after gargling					III. Minimum perceptibile after gargling and washing				
p. gr	t	g	n	mp	p. gr	t	g	n	mp	p. gr	t	g	n	mp
0·0154	80	2 : 3 5 : 6	13 1	$0·9\ 10^{-7}$	0·0170	60	1 : 2	7	$1·7 . 10^{-7}$	0·020	70	1 : 2	7	$2·0 . 10^{-7}$
0·0140	70	1 : 2 2 : 3 5 : 6	3 5 3	$1·7 . 10^{-7}$	0·020	65	1 : 2	8	$1·0 . 10^{-7}$	0·0136	65	1 : 2	8	$0·7 . 10^{-7}$
0·0150	60	1 : 2 2 : 3	7 1	$1·0 . 10^{-7}$										
Average = $1·2 . 10^{-7}$					Average = $1·35 . 10^{-7}$					Average = $1·35 . 10^{-7}$				

Temperature of room = 16°—20° C. — Blast pressure = 2·0—2·6 kg per cm².
The average threshold values en II and III agree here closely with the average value in I, the result thus b ing the same as in the preceding series.

The threshold values for benzaldehyde aie contained in the following table:

Table 3: Benzaldehyde.

I. Minimum perceptibile under normal conditions					II. Minimum perceptibile after gargling					III. Minimum perceptibile after gargling and washing				
p gr.	t	g	n	mp	p gr.	t	g	n	mp	p gr.	t	g	n	mp
0·0210	85	1 : 2 2 : 3	10 3	$1·9 . 10^{-8}$	0·015	90	1 : 2 2 : 3	11 2	$1·0 . 10^{-8}$	0·0214	90	1 : 2 2 : 3	12 1	$1·0 . 10^{-8}$
0·0180	75	1 : 2	12	$1·4 . 10^{-8}$	0·017	95	1 : 2	13	$0·7 . 10^{-8}$	0·022	85	1 : 2 2 : 3	11 2	$1·5 . 10^{-8}$
0·0104	75	1 : 2	11	$1·6 . 10^{-8}$										
Average = $1·6 . 10^{-8}$					Average = $0·85 . 10^{-8}$					Average = $1·25 . 10^{-8}$				

Temperature of room = 15°—19° C. — Blast pressure = 2·6—2·9 kg per cm²

Here the threshold values vary rather considerably, from $0{\cdot}7 . 10^{-8}$ to $1{\cdot}9 . 10^{-8}$ gr-mol per litre of air. The variations are probab y partly caused by the already mentioned tendency of benzaldehyde to be absorbed by the $CaCl_2$ solution. The range of variation is, however, not so great as to prevent one from drawing the conclusion that the sweet component of benzaldehyde is also not weakened by treatment with gymnema.

I also arrived a the same result in the case of octylalcohol, although its sweet smell is very marked and forms the chief component of its smell. It is true that its minima perceptibilia are somewhat higher after gargling (II), but that this is more of the nature of an accident is best shown by the result in (III), where the values again approach the normal ones and do not, as would of course be expected, rise still more. Besides the difference is too slight to make it probable that the mouth, thıoat or floor of the nasal cavity has any essential share in the sweet sensation produced by the inhaled octylalcohol. Nor does it seem to be altogether excluded that, during these unusually lengthy experiments, the gymnema spread through the lymphatic to vessels areas in the nasal cavity other than these directly washed. The results of the determinations of the minimum perceptibile were as follows (table 4).

Only one of the substances for which the threshold determinations were carried out showed a rather great increase in the threshold values of the sweet component under the influence of the gymnema; this was anethol (table 5).

The average threshold value, which under normal conditions is $1{\cdot}3 . 10^{-9}$, rises after gargling alone to $2{\cdot}4 . 10^{-9}$ and after gargling and washing to $1{\cdot}4 . 10^{-9}$. This last value seems to me to make it probable that the sweet sensation of anethol arises partly from the floor of the nasal cavity, including the upper side of the velum palatinum or the uppermost part of the nasopharynx. But no weakening is perceptible at a direct test by „sniffing“ above the substance in a concentrated form.

Table 4: Oxylalcohol.

I. Minimum perceptibile under normal conditions					II. Minimum perceptibile after gargling					III. Minimum perceptibile after gargling and washing				
p. gr.	t	g	n	mp	p. gr.	t	g	n	mp	p. gr.	t	g	n	mp
0·0112	110	1 : 2	19	$0{\cdot}5 . 10^{-10}$	0·0100	115	1 : 2 2 : 3	15 5	$1{\cdot}0 . 10^{-10}$	0·0110	120	1 : 2	19	$0{\cdot}5 . 10^{-10}$
0·0120	105	1 : 2	20	$0{\cdot}3 . 10^{-10}$	0·0188	120	1 : 2	18	$1{\cdot}8 . 10^{-10}$	0·0128	110	1 : 2	19	$0{\cdot}6 . 10^{-10}$
Average = $0{\cdot}4 . 10^{-10}$					Average = $1{\cdot}4 . 10^{-10}$					Average = $0{\cdot}55 . 10^{-10}$				

Temperature of room = 16⁰—20⁰ C. — Blast pressure = 2·8—3·0 kg per cm^2.

Table 5: Anethol.

I. Minimum perceptibile under normal conditions					II. Minimum perceptibile after gargling					III. Minimum perceptibile after gargling and washing				
p. gr.	t	g	n	mp	p. gr.	t	g	n	mp	p. gr.	t	g	n	mp
0·0007	60	1 : 2	10	$1{\cdot}6 . 10^{-9}$	0·0016	65	1 : 2	11	$1{\cdot}8 . 10^{-9}$	0·0011	60	1 : 2	8	$10 . 10^{-9}$
0·0009	60	1 : 2	11	$1{\cdot}0 . 10^{-9}$	0·0007	60	1 : 2	9	$3 . 10^{-9}$	0·0009	55	1 : 2	7	$18 . 10^{-9}$
Average = $1{\cdot}3 . 10^{-9}$					Average = $2{\cdot}4 . 10^{-9}$					Average = $14 . 10^{-9}$				

Temperature of room = 15⁰—16⁰ C. — Blast pressure = 2·9—3·2 kg per cm^2.

A number of other substances were also subjected to a test without threshold determination before and after treatment with gymnema. During this test no alteration could be traced in the sweet component of the smells of the following substances: amylacetate, amylvalerianate, amylbutyrate, carvon, cumarin, furfurol, hypnon, terpineol and vanillin.

Someone may perhaps raise the objection against my investigation that it is doubtful whether all the substances tested by me have a sweet component or not in their smells. As far as chloroform, bromoform and anethol are concerned I can refer in this question to the statement made by Zwaardemakers on the basis of his own experiences. Z. considers these materials to have a sweet smell. In the case of benzaldehyde, octylalcohol an other substances used by me I at least consider that they have a distinctly sweet smell. It would have been very pleasant and interesting to have also been able to test the generally known sweet smells that the flowers of the limetree and other flowers develop, but unfortunately I had to give up this idea, as it was impossible to obtain the substances that give these flowers their ,,sweet smell".

From the experiments described above it seems to be possible to draw the conclusion that there exist, even in the nasal cavities, organs for the perception of the sensation ,,sweet", and that the ,,sweet smell" of the tested substances is released principally in the nasal cavity, but that only in the case of anethol it can be to any essential degree a sensation of taste. On the other hand the experiments do not in any way indicate that the perceptional areas in the mouth and throat cannot also take part to some extent in the perception of sweetness, namely when the odorous substance is conveyed and inhaled in an exceedingly concentrated form. Some of the substances tested, when applied directly to the tip of the tongue, give indeed a very sweet sensation (e. g. chloroform). It is by no means excluded that a sensation such as ,,sweet" can be produced both from the epithelium of smell and the epithelium of taste and may, in certain cases, be a sensation of smell.

The experiments have shown that the ,,sweet component" and the ,,remaining component" have as a rule very similar threshold values. In the experiments with chloroform and octylalcohol the total sensation disappeared one or two dilutions after the sweet sensation. In the other cases the sweet component disappeared last, or else the two sensations had the same threshold value.

Summary.

The result of the investigation shows that there was no marked alteration in the minimum perceptibile of the sensation of sweetness in the smell of chloroform, bromoform, benzaldehyde and octylalcohol, after energetic gargling of the mouth and throat with a $0 \cdot 5 \%$ solution of gymnema together with flushing of the floor of the nasal cavity and the nasal surface of the velum palatinum with the same solution. On the other hand after the same treatment the minimum perceptibile of the sweet component of anethol was increased from $1 \cdot 3 . 10^{-9}$ gr-mol. per liter to $14 . 10^{-9}$ gr-mol. per liter.

Only in the case of anethol, not for the other substances mentioned, could a sensation of taste be shown to exist as an essential ingredient of the „sweet smell“.

Literature.

Bäckman, E. Louis, Experimentella undersökningar öfver luktsinnets fysiologi. *Ups. läk. för. Forhandl. Ny följd.* 1917. Bd. XXII. H. 5—6. S. 317.

Beyer, H., Nasales Schmecken, *Zeitschrift f. Psychologie u. Physiologie. d. Sinnesorgane.* Bd. LXXXV. S. 260—267.

Gradenigo, G., *Zeitschr. f. Ohrenheilkunde.* Bd. XXXVII. S. 66.

Nagel, W., Einige Bemerkungen über nasales Schmecken. *Zeitschr. f. Psychologie u. Physiologie d. Sinnesorgane.* Bd. XXXV. S. 268—269.

Derselbe, „Riechend Schmecken“. *Zeitschr. f. Psychologie.* 1905. Bd XXXVIII. S. 196.

Rollett, A., Beiträge zur Physiologie des Geruchs, des Geschmacks, der Hautsinne und der Sinne im allgemeinen. *Arch. f. (Anat. u.) Physiol.* 1899. S. 383.

Zarniko, *Zeitschrift f. Ohrenheilkunde.* Bd. XLV. III. S. 211.

Zwaardemaker, H., Die Physiologie des Geruchs. 1895.

Derselbe, „Riechend Schmecken“. *Arch. f. (Anat. u.) Physiologie.* 1903. S. 120.

Derselbe, „Riechend Schmecken“. *Zeitschr. f. Psychologie.* 1905. Bd. XXXVIII. S. 189.

Untersuchungen über statische Muskelarbeit.[1]

Von

J. Lindhard.

(Aus dem turntheoretischen Laboratorium der Universität Kopenhagen.)

I.

„Arbeit" wird in allen Hauptsprachen in mehrfachem Sinne angewendet; man muß daher bei der Anwendung dieses Wortes immer klarlegen, wie es zu definieren ist. Im allgemeinen Sprachgebrauch kann die Bedeutung des Wortes eine sehr unbestimmte sein, ohne daß es jedoch zu Mißverständnissen Veranlassung zu geben braucht; in der wissenschaftlichen Sprache aber muß die Bedeutung präzisiert werden, und die verschiedenen wissenschaftlichen Diszipline haben denn auch je eine ihrem besonderen Bedürfnis entsprechende Definition angenommen. In der Physiologie redet man von Arbeit in allen Fällen, wo gebundene chemische Energie infolge eines Reizes befreit wird. Wenn ein Muskel gereizt wird, wird gebundene chemische Energie teils in Wärme, teils in Spannungsenergie umgesetzt, und diese Spannungsenergie kann je nach den äußeren Umständen in positive oder negative Arbeit im physikalischen Sinne des Wortes umgesetzt werden, je nachdem eine Bewegung in der Zugrichtung des Muskels (Arbeit bei Verkürzung) oder in entgegengesetzter Richtung (Arbeit bei Verlängerung) stattfindet, oder aber kann sie zur Fixation unter sich beweglicher Körperabschnitte in bestimmten Stellungen dienen. Im letzteren Falle sagt man, daß der Muskel statisch arbeitet. Während der statischen Arbeit ist die Länge des Muskels also konstant (isometrische Kontraktion), indem seine Spannung andere äußere Kräfte

[1] Der Redaktion am 23. März 1920 zugegangen.

im Gleichgewicht erhält. Die Größe der Spannungsenergie ist von A. V. Hill (1) zu $S = 1/6\ Tl \times 10^{-4}/4{\cdot}26$ cal. bestimmt worden. In dieser Gleichung bezeichnet l die Länge des Muskels und T die maximale isometrische Spannung. Diese empirische Formel kann indessen nicht auf Muskeln in situ in Anwendung gebracht werden; man drückt daher gewöhnlich die physiologische Arbeitsleistung als Produkt der durch die Arbeit verursachte Vermehrung der Sauerstoffaufnahme und des kalorischen Wertes des Sauerstoffes aus, welcher Wert wiederum eine Funktion des respiratorischen Quotienten ist, insofern dieser ein Ausdruck der im Körper stattfindenden Stoffwechselprozesse ist.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen kommen die verschiedenen Arbeitsformen des Muskels untereinander vermischt vor. Alle zusammengesetzteren Körperbewegungen bewirken, daß einige Muskeln bei Verkürzung, andere bei Verlängerung arbeiten, während wiederum andere statisch arbeiten, oder die Funktion des einzelnen Muskels nimmt sukzessive alle 3 Formen an. Die willkürliche Muskelkontraktion ist nie ein Einzelzug, sondern ein mehr oder minder kurzwieriger Tetanus, und es wird somit in die allermeisten Muskelkontraktionen ein statisches Moment hineingeführt werden, aber dies braucht deshalb nicht die betreffende Muskelkontraktion in nachweisbarem Grade zu prägen. Wenn man eine ganz kurzwierige Arbeit betrachtet, d. h. eine Arbeit, die nur wenige Sekunden dauert, oder eine länger dauernde Arbeit, die aus ganz kurzwierigen Elementen zusammengesetzt ist, darf man somit auch nicht erwarten, den verschiedenen Arbeitsformen des Muskels entsprechende physiologische, nachweisbare, charakteristische Unterschiede vorzufinden. Die vorliegenden Versuche über statische Muskelarbeit von Johansson (2) und Johansson und Koraen (3) leiden eben unter dem Mangel, daß die Muskelkontraktionen zu kurzwierig waren, als daß die für die statische Arbeit eigentümlichen Verhältnisse sich haben geltend machen können. Anders verhält es sich, wenn die statische Arbeit eine länger dauernde ist. Es ist bekannt, daß eine überwiegend oder ausschließlich statische Muskelarbeit auffallend schnell einen sehr bedeutenden Grad von Ermüdung mit sich führt, eine Tatsache, die dazu auffordert, der statischen Arbeit eine etwas eingehendere Aufmerksamkeit zu widmen, als ihr bisher zuteil wurde, und zwar sowohl aus praktischen als aus theoretischen Gründen. Es ist denn auch diese letztere Form von Muskelarbeit die anhaltend kräftige, isometrische Kontraktion, die wir im Folgenden näher besprechen werden, namentlich in betreff ihrer Wirkungen auf Respi-

ration und Kreislauf, um dadurch im Verständnis von deren Mechanismus einen Schritt weiter zu gelangen.

Als Prototypus von Körperstellungen, in denen eine solche Muskelarbeit vorkommt, wählte ich die Beugehangstellung am Querbalken. Die Muskelgruppen, die in dieser Stellung vorzugsweise in Tätigkeit treten müssen, sind die Fingerbeuger, die Ellbogenbeuger, die Extensoren des Schultergelenks und die Adduktoren des Schulterblattes; namentlich scheinen die Ellbogenbeuger in Anspruch genommen zu werden; jedenfalls versagen sie immer zuerst wegen Ermüdung. Beugehangstellungen können in der Regel sogar von kräftigen Personen nur etwa 60 Sekunden gehalten werden; versucht man länger fortzusetzen, wird man trotz der energischsten Anstrengungen recht schnell in gestreckte Arme hinabsinken. Die Stellung wirkt nach verhältnismäßig wenig Sekunden sehr anstrengend, und die Ermüdungsempfindung wird oft von einem mehr oder minder starken Zittern der Muskulatur begleitet. Nach der Arbeit ist die Ermüdungsempfindung in den Muskeln sehr stark und verschwindet verhältnismäßig langsam. Es kann länger als eine Stunde dauern, bevor die Muskeln restituiert sind, falls man die Beugehangstellung so lange eingenommen hat, bis die Muskeln versagten.

Jede Muskelarbeit von angemessener Intensität wird früher oder später zur Ermüdung führen. Es wird nun allgemein angenommen, daß der Angriffspunkt der Ermüdung in den motorischen Endplatten des Muskels liegt, und so verhält es sich gewiß auch, wenn von der gewöhnlichen gemischten Form von Muskelarbeit die Rede ist, die man zum Unterschied von der rein statischen Arbeit als dynamische Arbeit bezeichnet hat, ein Ausdruck, der jedoch infolge des Obigen kaum berechtigt ist, da man statische Kontraktionen sicherlich nie ganz vermeiden kann. Aber mit der akuten Ermüdung, die bei der rein statischen Arbeit auftritt, verhält es sich anders; es handelt sich hier um eine Ermüdung der Muskelsubstanz selbst. Daß dies der Fall ist, geht aus einer Untersuchung der Aktionsströme des Muskels hervor. Wenn man bei einer fortgesetzten Reihe von energischen Kontraktionen eine Muskelgruppe müde arbeitet, zeigt eine Betrachtung der Elektromyogramme, daß die zu Anfang regelmäßigen, großen Ausschläge der Kurve allmählich unregelmäßiger werden, und daß ihre Amplitude gleichzeitig kleiner wird; nach 10 bis 15 Minuten findet man nur eine dicke, unregelmäßige, gezahnte Linie, an der der Rhythmus der Innervation sich nicht mehr feststellen läßt. Wenn man da-

gegen in der Beugehangstellung die Aktionsströme von Biceps brachii oder brachialis registriert, wird man Kurven von gewöhnlicher Form und Amplitude finden, sogar wenn die Versuchsperson wegen nicht zu überwindender Ermüdung in gestreckte Arme hinabsinkt (Henriques und Lindhard) (4). Da eine Ermüdung der motorischen Endplatten ein Erlöschen des Aktionsstroms bewirkt, muß der Angriffspunkt der Ermüdung bei der statischen Arbeit also die Muskelsubstanz selbst sein. Die am nächsten liegende Arbeitshypothese wird daher sein, daß die Zirkulation in dem statisch kontrahierten Muskel in einer für die Blutversorgung des Muskels unvorteilhaften Weise beeinflußt wird, und somit muß eine weitergehende Untersuchung dieser Arbeitsform zuvörderst Respiration und Kreislauf umfassen.

Die von uns gewählte Form von statischer Arbeit bietet in rein versuchstechnischer Beziehung verschiedene Vorteile dar. Die aktive Muskelkombination ist verhältnismäßig übersichtlich; die Möglichkeit, daß verschiedene Muskeln alternierend arbeiten können, ist ausgeschlossen, und es ist leicht, zu sehen, ob die vorgeschriebene Stellung unverändert gehalten wird, und den Versuch zu unterbrechen, wenn die Muskeln zu versagen beginnen. Außerdem ist es leicht, die Stellung einzunehmen wie auch von derselben zur Ausgangsstellung zurückzukommen, was den Vorteil darbietet, daß die Arbeit praktisch gesprochen eine „rein“ statische wird.

Vor dem Versuch stand die Versuchsperson auf einem kleinen, 30 cm hohen Schemel und der Querbalken war in der Höhe des Gesichts angebracht. Die Hände faßten den Querbalken in der vorgeschriebenen Weise, so daß die Versuchsperson auf ein gegebenes Signal nur die Muskeln zu spannen und die Füße einige Zentimeter vorzuschwingen hatte, um die gewünschte Stellung einzunehmen. Wurde zum Aufhören der Arbeit Signal gegeben, brauchte die Versuchsperson nur den einen Fuß ein wenig zurückzuführen, um sofort auf dem Schemel zu stehen. Während des Respirationsversuches atmete die Versuchsperson durch ein Zuntzsches Mundstück und ein Respirationsventil. Bei den ersten Versuchen mit E. H. wurde ein Bohrsches Glasventil, bei allen späteren Versuchen ein mit Guttaperchapapier armiertes Lovénsches Ventil angewandt.

Wenn dieses Ventil aus 20 bis 25 mm weiten Röhren hergestellt[1]

[1] Ventil und Hähne wurden im zoophysiologischen Laboratorium der Universität Kopenhagen (Prof. Dr. Krogh) hergestellt.

wird statt aus den gewöhnlichen etwas engeren Röhren, die sich in der ursprünglichen Konstruktion fanden, scheint es ein ideelles Respirationsventil zu sein, indem es sich in allen Stellungen mit derselben Leichtigkeit und Sicherheit anwenden läßt; es ist immer suffizient und immer zum Gebrauch fertig und macht sogar bei einer sehr kräftigen Ventilation keinen nennenswerten Widerstand. Das Glasventil bietet — von seiner Zerbrechlichkeit abgesehen — die Unannehmlichkeit dar, daß es während des Versuches einigermaßen senkrecht stehen soll, daß seine Klappen vom Kondensationswasser gelöst werden können, und daß es gewöhnlich nach kurzem Liegenbleiben insuffizient wird und mit neuen Klappen versehen werden muß. Auch das englische Douglas-Ventil kann nicht in allen Stellungen als zuverlässig betrachtet werden und macht ohne Zweifel einen größeren Widerstand gegen die Exspiration als das Lovénsche.

Die Abfuhrröhre des Ventils war mit einem viergängigen Hahn verbunden, dessen 3 Abfuhrröhren in einer zur Zufuhrröhre winkelrechten Ebene angebracht waren. Der Hahn, der zwischen den drei Stellungen nicht geschlossen werden konnte, war in der Weise angebracht, daß die eine Abfuhrröhre direkt nach oben, die beiden anderen schräge nach unten kehrten. An jeder derselben wurde ein Douglas-Sack angebracht, der vor der Abnahme mit einem Klemmhahn geschlossen werden konnte. Die Säcke ruhten auf einem viereckigen Rahmen von ziemlich dickem Eisendraht, welcher Rahmen mittels Schnüren an beiden Seiten und in der Höhe des Kopfes der Versuchsperson aufgehängt war. Durch diese Aufhängung erzielte man, daß die Versuchsperson den Kopf ungezwungen bewegen konnte.

Die Respirationen wurden an einem Kymographion mittels einer Mareyschen Schreibekapsel registriert, die bei den ersten Versuchen mit dem Respirationsventil, bei den späteren Versuchen aber mit einem kleinen flachen Kautschukbeutel in Verbindung gesetzt war, der Luft enthielt, und der unter der Weste an der Brust der Versuchsperson angebracht war. Am Kymographion wurde außerdem die Zeit in Zehntel Minuten und zugleich mittels eines Markiermagneten die Anfangs- und Endzeitpunkte des Versuches registriert. Bei einigen der ersten Versuche wurden auch der Lungenluft ad modum Haldane-Priestley Exspirationsproben entnommen.

Der Verlauf der Versuche war der folgende: Die Versuchsperson kam 2 bis 3 Stunden nach einer leichten Morgenmahlzeit — meist per Straßenbahn — ins Laboratorium und wurde hier in sitzender Stellung angebracht. Nach einer kürzeren Ruhepause füllte sie die 3 Douglas-Säcke durch Respirationsmaske und Ventil mit Exspi-

rationsluft. Die Versuchsperson blieb danach ruhig sitzen, während die Säcke geleert und die übrigen Vorbereitungen für die Versuche getroffen wurden, wonach sie sich auf den Schemel beim Querbalken stellte, das Mundstück und die Nasenklemme anbrachte und den Querbalken in der vorgeschriebenen Weise faßte. Wenn die Respiration nach einigen Minuten vollständig ruhig geworden war, wurde der Hahn zu dem einen Sacke gedreht, und der Ruheversuch begann. Er dauerte ungefähr 3 Minuten. Darauf entweder eine Pause von ein paar Minuten, während der gefüllte Douglas-Sack durch einen anderen ersetzt wurde, oder es wurde unmittelbar zum Arbeitsversuch übergegangen, indem das Umtauschen der Säcke dann während desselben stattfand. Auf das Signal „klar" spannte die Versuchsperson ihre Muskeln, und auf ein unmittelbar danach gegebenes Signal wurden die Füße vom Schemel gehoben und die hängende Stellung eingenommen, während der Hahn gleichzeitig zu einem leeren Sack umgedreht wurde. Dieses geschah womöglich immer zu Ende einer Respiration. Wenn die Kräfte der Versuchsperson im Begriff waren, sich zu erschöpfen, in der Regel nach etwa 50 Sekunden, wurde zu Ende einer Exspiration auf ein gegebenes Signal der Hahn zu einem neuen Sack gedreht, während die Versuchsperson in demselben Moment die Füße wieder auf den Schemel stützte. Dieser Versuch unmittelbar nach der Arbeit dauerte meist ein wenig über eine Minute und wurde wie die anderen Versuche zu Ende einer Exspiration abgeschlossen. In einigen Fällen wurde der erste Ruheversuch übersprungen, und es wurde dann nach der Arbeit im Anschluß an den obengenannten Versuch noch ein Versuch angestellt, in anderen Fällen wurde einer der zuerst gefüllten Säcke geleert, und es wurde dann einige Minuten später ein Versuch angestellt. Am meisten wurde jedoch auf die 3 zuerst besprochenen Versuche Gewicht gelegt. Die Luft in den 3 gefüllten Douglas-Säcken wurde, nachdem man sich davon überzeugt hatte, daß ordentlich geschlossen worden war, gemischt, indem man die Säcke eine entsprechende Zeit lang „knetete". Die Säcke wurden danach durch einen kalibrierten Gasmesser geleert und in einem Hg-Rezipienten aus der Verbindung zwischen Sack und Messer eine Luftprobe entnommen, während sie bei einem Druck auf den Sack ausströmte. Es wurden wiederholentlich demselben Sack mehrere Proben entnommen, um festzustellen, daß die Luftmischung bei der angewandten Methodik eine vollkommene sei.

Für die Kreislaufversuche wurde die Versuchsperson in der Haupt-

sache in derselben Weise vorbereitet wie für die Respirationsversuche; auch die Stellung auf dem Schemel war dieselbe. Ebenso der Übergang von Ruhe zur Arbeit und umgekehrt.

Die Kreislaufversuche wurden alle ad modum Krogh und Lindhard angestellt. In betreff der Technik dieser Methode verweise ich auf die früheren ausführlichen Beschreibungen (5 und 6). Das Spirometer war ungefähr in der Höhe des Querbalkens angebracht. Vom Spirometer führte ein 25 mm-Schlauch, dessen Volumen etwa 200 ccm betrug, zu einem dreigängigen Hahn, an dem das Mundstück so angebracht war, daß die Versuchsperson teils Stubenluft einatmen, teils mit dem Spirometer in Verbindung gesetzt werden konnte. Die Luftproben wurden dem Schlauch dicht bei dem geschlossenen Hahn entnommen; die erste Probe wurde in einem evakuierten Rezipienten entnommen. Die Ruheversuche fanden statt nach der früher beschriebenen „Gleichgewichtmethode", wogegen die Versuche während und unmittelbar nach der Arbeit nach der ein wenig modifizierten „Residualmethode" (7) ausgeführt wurden. Die Versuche während der Arbeit begannen in den meisten Fällen 30 bis 35 Sekunden, nachdem die hängende Stellung eingenommen worden war, während die Versuche nach der Arbeit sofort, nachdem die Versuchsperson wieder die Füße auf den Schemel gestellt hatte, begannen. Da nicht anzunehmen ist, daß das Stickoxydul vor Verlauf von ungefähr 15 Minuten aus dem Körper eliminiert sein kann, können die Kreislaufversuche also nicht wie die Respirationsversuche in Serien angestellt werden, und die Werte, die in den Tabellen für den Kreislauf während und unmittelbar nach der Arbeit eingeführt sind, sind somit keine paarweise zusammengehörenden Werte wie bei den entsprechenden Respirationsversuchen. Wenn mehrere Kreislaufversuche während und nach der Arbeit an demselben Tag angestellt werden, müssen, da die Muskelermüdung nur langsam und allmählich schwindet, am liebsten $^3/_4$ Stunden zwischen jedem Versuch verlaufen. Da die hängende Stellung überhaupt, wie jede andere Stellung, in welcher der Brustkorb mehr oder minder fixiert ist, die Respiration erschwert, namentlich wenn die Stellung anfängt, anstrengend zu werden, hat es sich mehrmals gezeigt, daß sowohl die erste Inspiration wie die letzte Exspiration im Kreisverlaufversuche zu klein wird. Wenn die erste Inspiration zu klein ist, ist der Versuch kassabel, indem die Mischung in den Lungen dann unvollständig oder jedenfalls unzuverlässig wird; daß die letzte Exspiration unvollständig ist, bedeutet dagegen, wenn

die „schädlichen Räume“ genügend ausgespült sind, für das Versuchsresultat nur, daß sowohl das Minutenvolumen als die Sauerstoffabsorption verhältnismäßig niedrig beziffert werden, was irrelevant ist, wenn man die gefundenen Werte auf den Stoffwechsel reduziert.

Außer den genannten Respirations- und Kreislaufversuchen habe ich eine Reihe Bestimmungen von Vitalkapazität und Residualluft sowohl in den hängenden Stellungen als in einigen anderen Stellungen bei ausschließlich oder überwiegend statischer Arbeit ausgeführt; von diesen Versuchen sollen hier jedoch nur die Resultate angeführt werden.

Um von der Empfindlichkeit des Respirationszentrums für CO_2 einen Eindruck zu erhalten, habe ich ferner einige wenige Versuche mit einer einzelnen Versuchsperson in Beugehangstellung angestellt. Es wurde bei dieser Gelegenheit ein 2 l Mischungsbehälter zwischen Mundstück und Ventil eingeschaltet, wodurch also der „schädliche Raum“ bedeutend vergrößert wurde. Die Luft im Behälter wurde permanent mittels eines Motors gemischt; er enthielt durchschnittlich $3 \cdot 5\% \; CO_2$. Dieses Verfahren, das in einer etwas abgeänderten Form von Liljestrand angegeben worden ist (8), wirkt nicht unangenehm auf die Versuchsperson, leidet aber an gewissen anderen Übeln. Der effektive „schädliche Raum“ kann nicht bestimmt werden und schwankt aller Wahrscheinlichkeit nach stark mit der Respirationstiefe; man kann also auch nicht die alveolare Ventilation bestimmen, sondern muß sich mit der Totalventilation begnügen. Die alveolare CO_2-Spannung läßt sich nicht berechnen, und man ist auf eine Entnahme von Haldane-Priestley-Proben hingewiesen, die bei der tiefen, schnellen Respiration kaum einen sicheren Ausdruck von der mittleren Spannung der alveolaren Luft ergeben, und die Anfängern gewisse Schwierigkeiten bereiten, namentlich was die Inspirationsproben betrifft. Ich habe mich daher mit Exspirationsproben begnügt und daraus die mittlere Spannung in den Alveolen abzuschätzen versucht.

Schließlich wurde die Reaktion des Blutes an 2 Versuchspersonen vor und nach Arbeit bestimmt. Diese Bestimmungen wurden gütigst von Dr. Liljestrand (Stockholm) im zoophysiologischen Laboratorium der Universität nach einer von Krogh und Liljestrand angegebenen Methode (9) ausgeführt.

Zu der Genauigkeit, die man den Versuchsresultaten zuschreiben kann, ist Folgendes zu bemerken:

Die Luftanalysen, die an einem von Krogh modifizierten Haldane-Apparat ausgeführt wurden, sind richtig innerhalb $\pm 0 \cdot 05\%$.

Da die kleinste Einteilung am Gasmesser 16·7 ccm entspricht, kann man von Ablesefehlern innerhalb derselben absehen. Der Gasmesser hat einen systematischen Fehler, indem er bei den angewandten Geschwindigkeiten 0·2 bis 0·4% zu wenig zeigt. Auch auf diesen Fehler ist bei der Berechnung der Versuche keine Rücksicht genommen.

Eine andere Reihe von Korrektionen, die gleichfalls außer Betracht bleibt, rührt von der Anwendung der Douglas-Säcke her; der „schädliche Raum" in diesen beträgt bzw. 1·0, 1·3 und 1·3 l. Zu Anfang ist der „schädliche Raum" mit Stubenluft gefüllt, aber die Säcke werden vor der Anwendung in den Versuchen mit etwa 30 l Exspirationsluft gefüllt, gemischt und wieder geleert. Die Luft in dem „schädlichen Raume" der Säcke muß somit annehmbar eine Zusammensetzung haben, die der Zusammensetzung der Exspirationsluft im Ruheversuch so nahe kommt, daß, wenn diese rund etwa 20 l beträgt, für eine Korrektion kein Platz da ist. Anders verhält es sich mit den Versuchen während und unmittelbar nach der Arbeit. In diesen Versuchen hat die Exspirationsluft meist eine von der Zusammensetzung in den Ruheversuchen abweichende Zusammensetzung. Die Größe der Korrektion wird aus den untenstehenden Beispielen hervorgehen, die in der Weise gewählt wurden, daß die Größe annehmbar annäherungsweise die maximale ist.

	Exspirationsluft		Differenzen			Stoffwechsel ccm pro Min.		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	R. Q	CO_2	O_2	
direkt . . .	3.93	17.33	3.87	3.52	1.10	665	605	Arbeit
korrigiert .	3.90	17.39	3.84	3.46	1.11	660	595	
direkt . . .	4.81	16.29	4.75	4.61	1.03	452	440	Unmittelbar nach Arbeit
korrigiert .	4.88	16.33	4.82	4.55	1.06	459	433	

Von der Sackluft ist angenommen, daß sie dieselbe Zusammensetzung hat wie in den Ruheversuchen. Die Korrektionen betragen nun, wie die Tabelle zeigt, zwischen 1 und 3% der Werte. Wenn auch auf diese Korrektionen bei der Berechnung der Versuche keine Rücksicht genommen wurde, so liegt das daran, daß sie ohne Bedeutung sind im Vergleich mit denjenigen, die wegen der während der Versuche geänderten Zusammensetzung der Alveolarluft notwendig sind.

Die Voraussetzung dafür, daß man den respiratorischen Stoffwechsel aus der Totalventilation und der Zusammensetzung der Respirationsluft berechnen kann, ist, daß die Zusammensetzung der

Lungenluft während des Versuches nicht in nennenswertem Grade abgeändert wird, oder, in praxi, daß eine eventuelle Änderung wegen der Länge des Versuches oder der Größe des Umsatzes bedeutungslos wird. Wenn die Lungenluft verändert, z. B. reicher an CO_2 oder ärmer an O_2 wird, so muß der Unterschied zwischen den Mengen der betreffenden Gase vor und nach dem Versuche zu den gefundenen Werten des Stoffwechsels addiert bzw. von denselben subtrahiert werden.

Die durchschnittliche Zusammensetzung der Lungenluft läßt sich mit großer Annäherung aus der durchschnittlichen Respirationstiefe, dem „schädlichen Raum" und der Zusammensetzung der Respirationsluft berechnen mittels der Bohr-Zuntzschen Formel. Die Unsicherheit dieser Methode beruht auf der mehr oder minder genauen Bestimmung des „schädlichen Raumes". Der persönliche „schädliche Raum" kann direkt bestimmt werden, aber die Bestimmung ist recht umständlich und gilt nur unter den gegebenen Bedingungen, indem die Größe mit der Mundstellung schwanken kann und stets mit dem Füllungsgrade der Lungen schwankt, wenn dieser größer ist als die gewöhnliche mittlere Kapazität (10). Außerdem wird durch das Mundstück und das Respirationsventil noch ein „schädlicher Raum" eingeführt, dessen „Effektivität" mit der Größe der Ventilation und der Respirationstiefe schwankt oder schwanken kann. Eine mutmaßliche Schätzung des „schädlichen Raumes" läßt sich durch die von mir angegebene Formel (11) erzielen, und eine solche wird wegen der Umständlichkeit und der Unsicherheit der direkten Bestimmung oft vor dieser vorzuziehen sein. Bei 3 von meinen Versuchspersonen wurde der „schädliche Raum" in letzterer Weise bestimmt, und zu dem Resultat wurde der Raumgehalt von Mundstück und Ventil, mit Wasser gemessen, addiert. Es ist keine Rücksicht darauf genommen, daß eventuell nicht der ganze „schädliche Raum" effektiv ist; dafür ist nicht für eine eventuelle Vermehrung der mittleren Kapazität korrigiert worden, indem diese nicht gemessen werden konnte, ohne daß die schon im voraus genügend komplizierten Versuche mit der vorhandenen Assistenz unausführbar wurden. Die Größe des „schädlichen Raumes" ist also nicht mit Sicherheit bekannt; da aber die Respirationstiefe in den meisten Versuchen eine sehr bedeutende ist, wird ein eventueller Fehler der Größenordnung, von der hier die Rede sein kann, nur einen verhältnismäßig geringen Einfluß auf die Resultate ausüben können. Dieser Unsicherheit wegen habe ich mich jedoch nicht veranlaßt gefühlt, die Zusammensetzung der Lungenluft in jedem

einzelnen Falle zu berechnen, ich habe aber die Durchschnittswerte aus völlig zuverlässigen Versuchen benutzt. Aus den so gefundenen Werten der Zusammensetzung der Alveolarluft wurden die Korrektionen des Stoffwechsels berechnet, und mit der durchschnittlichen Korrektion wurden die einzelnen Versuche korrigiert und auch die korrigierte mittlere Zahl berechnet. Untenstehendes Beispiel wird dieses genauer veranschaulichen.

E. H. Beugehang mit Zwiegriff. Mittlere Kapazität (geschätzt) 3·5 l. Die Zahlen in ( ) bezeichnen die Anzahl der Versuche.

	Ruhe		Arbeit			Unmittelbar nach Arbeit		
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	R. Q	CO_2	O_2	R. Q
Alveolarspannungen %	(4)4·67	16·25	(4) 3·81	17·50	—	(4) 5·59	16·50	—
Differenzen % . . .	—	—	÷0·86	+1·25	—	+ 1·78	÷ 1·00	—
Korrektionen ccm . .	—	—	÷30	÷44	—	+62	+35	—
Stoffwechsel, Mittel direkt			718	614	1·17	1104	821	1·35
„ „ korrigiert . . .			690	557	1·22	1160	853	1·36

Da diese Korrektionen, wie man sehen wird, nicht ohne Bedeutung sind — die Korrektion beim Arbeitsversuch beträgt 10% der Sauerstoffaufnahme —, wurde die Rechnung in allen Versuchsreihen, mit Ausnahme der Versuche mit E. H., bei großem „schädlichen Raum" ausgeführt. Die korrigierten Zahlen sind natürlicherweise nicht ganz richtig, aber die Fehler üben keinen solchen Einfluß auf die Resultate der Untersuchung aus, daß es für ihre Anwendung von Belang ist.

In betreff der Genauigkeit der bei den Kreislaufversuchen erzielten Resultate muß es genügen, auf frühere Arbeiten hinzuweisen. Es mochte, wie bereits erwähnt, ab und zu den Versuchspersonen, namentlich einer davon, schwer fallen, zur Residualluft zu exspirieren, oder: die Residualluft konnte unregelmäßig sein und recht stark schwanken; dies berührt die Versuchsresultate jedoch nur rein rechnungsmäßig.

Die Versuchspersonen waren:

	Alter	Höhe cm	Gewicht angekleidet kg	Schädlicher Raum ccm	Vitalkapazität stehend Liter	Vitalkapazität hängend Liter	Residualluft stehend ccm	Residualluft hängend ccm
E. H.	25	175	70	180	5.15	4.60	1130	1130
O. F.	25	179.5	80	185	5.45	4.41	1320	
J. L.	49	173	66	180	4.00	3.60	1530	
Frl. M. K.	29	167	64.5	165	3.60	2.70	845	

Sämtliche Versuchspersonen waren mit den vorgenommenen Übungen vertraut, hatten aber mit Ausnahme von Fräulein M. K., die sich kürzere Zeit hindurch öfters geübt hatte, die hängende Stellung einzunehmen, nicht speziell für die Versuche trainiert. Der allgemeine Trainierungszustand der Muskulatur war nicht gut, namentlich waren O. F. und J. L. außer Trainierung. Nur J. L. hatte früher an physiologischen Versuchen teilgenommen, und man mußte daher einige einleitende Übungen und Blindversuche ausführen; nichtsdestoweniger zeigte es sich mehrmals, daß die Versuchsresultate gesetzmäßig in einer solchen Weise schwankten, daß kaum zu bezweifeln ist, daß sie durch einen „Übungsfaktor" beeinflußt wurden. Die Zeit erlaubte indes kein umfassendes Trainieren, und ein solches würde denn auch für die vorliegende Untersuchung überflüssig geblieben sein.

Das Versuchsmaterial ist in Tabellen zusammengestellt in der Weise, daß die einzelne Versuchsperson und die einzelne Übung je ihre Tabelle haben. Finden sich in dem betreffenden Falle sowohl Respirations- als Kreislaufversuche, ist die Tabelle in a und b geteilt, indem es als das praktischste zu betrachten ist, daß physiologisch zusammengehörende Versuche zusammen auftreten. Die Tabelle enthält außer den beobachteten Größen noch die wichtigsten berechneten, u. a. die berechneten und korrigierten Mittel, welche für die Diskussion der Versuchsresultate von Interesse sind. Wegen der verhältnismäßig geringen Anzahl von Versuchen in den einzelnen Gruppen konnte von einer eigentlichen Zahlenbehandlung keine Rede sein.

Zu den Ruheversuchen in Tabelle I ist erstens zu bemerken, daß die Respiration während der ersten davon durch das Mundstück beeinflußt war, wie dieses oft bei ungeübten Versuchspersonen der Fall ist. Die Stellung war indessen, wie die ganz identischen Sauerstoffzahlen zeigen, sehr ruhig und gleichmäßig. Der Stoffwechsel ist etwas höher (10%) als in späteren Versuchen in stehender Stellung, gewiß ausschließlich, weil die Stellung in dieser ersten Versuchsreihe etwas „korrekter" gehalten wurde als später. Da es nicht gegeben ist, daß die Ursache des vermehrten Stoffwechsels in der Ausgangsstellung auch in der hängenden Stellung gewirkt hat, wird es am richtigsten sein, die Stoffwechselsteigerung, die von der statischen Arbeit herrührt, von dem in den späteren Versuchen gefundenen Ruhestoffwechsel aus zu berechnen.

Die Veränderungen, welche die Respiration infolge der statischen Arbeit durchmacht, sind recht bedeutend. Die Respirationsfrequenz

E. H. Respirationsversuch. Beugehang mit Zwiegriff (Motfrånhävhäng).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Liter pro Min. 37° (Zimmert.)	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	1./5.	3.67	18 à 2′	34.4	9.0		7.75	8.38	355	345	1.03	Vom Mundstück etwas geniert.
	2./5.	3.07	28	31.4	9.1	1240	8.6	9.20	351	347	1.01	
	3./5.	2.53	22	23.2	8.7	1166	7.6	8.61	323	346	0.94	
	5./5.	3.19	28	30.35	8.6	1231	7.95	8.86	338	340	0.99	
	Mittel				8.85	1212	8.0		342	344	0.99	
Arbeit	1./5.	0.66	10	12.65	15.1	1350	16.5	17.2	665	605	1.10	
	2./5.	0.79	10.5	17.8	13.3	1875	20.2	20.3	666	540	1.23	
	3./5.	0.85	12	20.05	14.1	1842	21.1	21.2	722	652	1.11	
	5./5.	0.86	13	20.4	15.1	1711	21.0	23.2	750	581	1.29	
	6./5.	0.708		17.3				22.6	750	621	1.21	
	22./5.	0.90	10	17.85	11.1	2006	17.8	18.55	755	685	1.10	
	Mittel				13.7	1757	19.3		718	614	1.17	
	Mittel korr.								680	557	1.22	
Unmittelbar nach Arbeit	30./4.	0.92	12	26.85	13.3	2471	26.8	26.25	1250	913	1.37	
	2./5.	1.72	22	36.7	13.2	1804	19.0	19.2	980	682	1.43	
	3./5.	1.10	11	33.3	10.0	3337	28.5	27.2	1407	1085	1.30	
	6./5.	1.06	11	20.9	10.6	2036	17.85	18.2	895	702	1.27	
	22./5.	1.02	11	20.35	10.8	2075	18.0	18.7	986	723	1.36	
	Mittel				11.6	2345	22.0		1104	821	1.35	
	Mittel korr.								1160	853	1.36	
4 Minuten nach Arbeit	6./5.	2.72	24	32.4	8.8	1487	10.3	11.0	402	368	1.09	
13 Minuten nach Arbeit	6./5.	1.58	12	15.7	7.9	1383		9.2	319	336	0.95	

Tabelle I b.

E. H. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red., Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	2./6.	7.66	413	54	314	5.8			
	3./6.	7.79	428	55		5.7	62	92	
	4./6.	6.2	378	61		5.15	64	80	Pulse schwankend (bis 75 pro Minute).
	6./6.	7.60	431	56.5		5.5	65	85	
	Mittel			56.5	314	5.5			
Anfang sofort nach Anfang der Arbeit	24./5.	9.28	388	42					
	2./6.	8.35	293	35					
	7./6.	8.46	481	57					
	Mittel			44.5					
Anfang etwa 35 Sek. nach Anfang der Arbeit,	3./6.	13.3	628	47	557	11.8			
	6./6.	9.2	496	54		10.3			
	7./6.	12.45	589	47		11.8			
	Mittel			49.5	557	11.3			
Anfang sofort nach Anfang der Arbeit	4./6.	17.1	868	51	853	16.8	75[1]	225	
	5./6.	7.95	825	103.5		8.2		109	
	6./6.	13.1	894	68		12.5		167	
	10./6.	9.9	904	91		9.3		125	
	10./6.	15.6	895	57.5		14.9		198	Durch den Versuch sehr angestrengt.
	Mittel			74	853	12.3		165	

[1] Puls nach dem Arbeitsversuch gezählt. Anfang 10 bis 15 Sekunden nach Aufhören der Arbeit. 80—70—76 pro Min.

steigt von 8·85 auf 13·7 pro Minute, die alveolare Ventilation von 8·0 auf 19·3 l pro Minute, und gleichzeitig findet man eine sehr starke Steigung des respiratorischen Quotienten, der, offenbar infolge von CO_2-Auswaschung, bis auf 1·22 gestiegen ist, während die Sauerstoffaufnahme nur von 314 (siehe Tabelle II) auf 557 oder 243 ccm pro Minute gestiegen ist. Dies scheint erstens zu zeigen, daß die von Krogh und Lindhard (12) nachgewiesene nervöse „Einstellung" der Respiration auf die erwartete Arbeit auch bei rein statischer Arbeit stattfindet, zweitens, daß der Respirationsquotient in kurzwierigen Arbeitsversuchen kein Ausdruck von stattfindenden chemischen Umsätzen im Organismus, sondern von der Mechanik der Respiration abhängig ist. Schließlich zeigt es sich, daß zwischen den Veränderungen der Mechanik der Respiration und der Stoffwechselvermehrung ein sehr ausgesprochenes Mißverhältnis besteht. Man müßte, wenn man Frequenz und Ventilation in diesen Versuchen mit denselben Funktionen der Ergometerversuche vergleicht, eine Sauerstoffaufnahme während der statischen Arbeit von ungefähr 1200 ccm pro Minute erwarten, d. h. eine 3 bis 4 mal so große Zunahme vom Ruhewert an als diejenige, die tatsächlich stattfindet. Die ganze Versuchsreihe ergibt so gleichartige Zahlen, daß man sicherlich Zufälligkeiten als ausgeschlossen betrachten darf. Noch auffälliger werden die Versuchsresultate durch einen Vergleich zwischen der folgenden Serie und Versuchen nach der Arbeit am Ergometer. Man findet nach der statischen Arbeit eine Abnahme der Frequenz auf 11·6, aber eine Steigerung der alveolaren Ventilation auf 22·0 l pro Minute, woraus sich unmittelbar eine stark vermehrte Atmungstiefe ergibt. Der respiratorische Quotient steigt bis auf 1·36, was nur teilweise vom Auswaschen in gewöhnlichem Sinne herrühren kann, sondern teilweise andere Ursache haben muß. Auf diese Frage werden wir später eingehender zurückkommen. Außerdem steigt der Stoffwechsel, indem die Sauerstoffaufnahme im Durchschnitt 853 ccm pro Minute beträgt, was eine Steigerung von 539 ccm pro Minute vom Ruhestoffwechsel an gerechnet oder mehr als doppelt so viel wie die Steigerung während der Arbeit selbst bedeutet. Noch stärker tritt dieses Verhältnis hervor, wenn man die absoluten Zahlen der Sauerstoffaufnahme in den beiden nacheinander folgenden Versuchsreihen betrachtet, indem die Dauer der Arbeitsversuche nur 0·8 Minute beträgt, während die nachfolgenden Versuche durchschnittlich 1·16 Minute dauern. Während man in den Ergometerversuchen einen jähen Fall der Sauerstoffkurve vorfindet, indem die Arbeit aufhört,

findet man also nach der statischen Arbeit einen plötzlichen starken Anstieg, auf den doch recht schnell nach einer etwas ähnlichen Kurve wie nach den Ergometerversuchen ein Fall folgt. Versuche längere Zeit nach Abschluß der Arbeit zeigen ferner, daß der Stoffwechsel erst nach 12 bis 15 Minuten auf das ursprüngliche Niveau hinabgelangt ist. Daraus folgt wiederum, daß die der statischen Arbeit entsprechende Vermehrung des Stoffwechsels nur in verhältnismäßig geringem Grade während der Arbeit selbst hervortritt, während bei weitem der größte Teil der Sauerstoffaufnahme nach Schluß der Arbeit stattfindet. Die Versuche nach der Arbeit schwanken bedeutend mehr als während der Arbeit, aber der Stoffwechsel ist in allen Fällen größer als während des entsprechenden Arbeitsversuches. Es scheint zwischen den zusammengehörenden Versuchen keine Wechselwirkung mit einem besonders großen Stoffwechsel nach der Arbeit zu bestehen, wenn der Stoffwechsel während der Arbeit verhältnismäßig klein war oder umgekehrt; vielmehr scheinen die Schwankungen in den beiden Reihen parallel zu sein, so daß nach einem großen O_2-Versuch während der Arbeit eine besonders große Sauerstoffaufnahme nach der Arbeit folgt, was wiederum auf einer etwas verschiedenen Stellung (z. B. Ellbogenbeugung mit verschiedenem Winkel, wodurch die Hebelverhältnisse verändert werden) oder möglicherweise auf einer verschiedenen Disposition des Versuchsindividuums beruhen kann.

Betrachtet man sodann die Kreislaufversuche, findet man in der stehenden Stellung Werte, die überaus gut mit den früher veröffentlichten Versuchen übereinstimmen; sobald man aber zu den Arbeitsversuchen kommt, ändert sich das Verhältnis. Die Arbeitsversuche sind in 2 Gruppen geteilt, von denen die erste Versuche enthält, die innerhalb der ersten 15 Sekunden des Arbeitsversuches gelegen sind, während die Versuche der zweiten Gruppe einem Zeitpunkt gegen Schluß der Arbeitsperiode hin entsprechen. Charakteristisch für beide Gruppen im Gegensatz zu dem, was man bei allen anderen bisher bekannten Arbeitsversuchen gefunden hat, ist eine im Vergleich mit dem Ruhewert verminderte Sauerstoffaufnahme pro Liter Blut. Ob der Unterschied zwischen der Ausnutzung in den beiden Gruppen reell ist oder nicht, läßt sich nicht mit Sicherheit entscheiden, da es nur wenig Versuche sind und sie stark schwanken. Wie groß das Minutenvolumen in der ersten Versuchsgruppe ist, läßt sich auch nicht entscheiden, da der Stoffwechsel zu dem Zeitpunkt der Versuche unbekannt ist; in der letzten Versuchsgruppe beträgt das Minuten-

volumen 11·3 l oder ungefähr doppelt so viel wie in Ruhe. Da es unmöglich war, den Puls während der Arbeit zu zählen, konnte das Schlagvolumen also nicht bestimmt werden.

Auch das Verhalten des Kreislaufes deutet also darauf, daß die nervöse „Einstellung“ zur Arbeit wie gewöhnlich stattfindet, daß aber der Stoffwechsel nur in verhältnismäßig geringem Grade davon beeinflußt wird.

Wie der Kreislauf sich unmittelbar nach einer Arbeit am Ergometer verhält, ist unbekannt, da meines Wissens keine zu diesem Zeitpunkt angestellten Kreislaufversuche vorliegen. In den Versuchen unmittelbar nach der statischen Arbeit, die wie die entsprechenden Respirationsversuche recht stark schwanken, findet man eine geringe Vermehrung des Minutenvolumens, aber eine sehr bedeutende Steigerung der Ausnutzung, die ungefähr dieselbe Größe hat, wie diejenige, die man in Ergometerversuchen findet, wo die Sauerstoffaufnahme 1000 bis 1200 ccm pro Minute beträgt. Der Puls wurde nach anderen Versuchen gezählt, und es wollte nicht gelingen, mit dem Zählen vor 10 bis 15 Sek. nach Aufhören der Arbeit zu beginnen; es ist daher anzunehmen, daß die gefundenen Werte zu klein sind. Ein Vergleich mit später gefundenen Pulszahlen macht es wahrscheinlich, daß der dem Zeitpunkt der Versuche entsprechende Puls auf etwa 100 zu veranschlagen ist, weshalb die angegebenen Werte des Schlagvolumens auf $^3/_4$ herabzusetzen sind. Es folgt aus dem Vorhergehenden, daß nur dem durchschnittlichen Schlagvolumen Bedeutung beigelegt werden kann; den einzelnen Werten können unzweifelhaft recht bedeutende Fehler anhaften.

Die in Tabelle II angeführten Versuche wurden mit derselben Versuchsperson E. H. ausgeführt, nur in einer etwas abweichenden Stellung, die jedoch, turnmäßig betrachtet, leichter ist als die in Tabelle I behandelte, was sich u. a. daraus zu erkennen gibt, daß die Versuchszeit der Arbeitsversuche in dieser Tabelle durchschnittlich 0·9 Minute beträgt, während sie in Tabelle I nur 0·8 Minute betrug. Trotz der längeren Dauer der Versuche ist die Zunahme von Frequenz und Ventilation doch geringer als in den obenerwähnten Versuchen, wie auch die Stoffwechselsteigerung kleiner ist. Der Unterschied ist jedoch in den Arbeitsversuchen nicht bedeutend, dagegen findet man, wenn man die Versuche unmittelbar nach Arbeit betrachtet, interessante Unterschiede zwischen den zwei Tabellen. Die Stoffwechselsteigerung nach Arbeit ist in Tabelle II viel kleiner als in Tabelle I, nämlich nur

Tabelle II a.

E. H. Respirationsversuch. Beugehang mit Kammgriff (Frånhävhäng).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Liter pro Min. (Zimmertemp.)	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	9./5.	2.93	24	24.4	8.2	1110	6.85	7.10	299	316	0.94	
	19./5.	2.16		16.5				7.20	287	313	0.92	
	20./5.	1.82	14	13.1	8.0	1021	5.77	6.77	288	314	0.92	
	Mittel				8.1	1066	6.31		292	314	0.93	
Arbeit	7./5.	0.855	11	17.9	13.2	1726	18.6	19.55	682	557	1.225	
	8./5.	0.89	10	16.0	10.8	1687	15.85	16.75	626	553	1.11	
	9./5.	0.945	11	20.6	11.6	2071	19.65	20.1	745	632	1.18	
	Mittel				11.9	1828	18.0		684	581	1.17	
	Mittel korr.								652	524	1.24	
Unmittelbar nach Arbeit	7./5.	1.24	13	24.1	10.9	2030	18.0	18.55	941	690	1.36	
	9./5.	1.19	11	23.0	9.25	2312	17.65	17.9	935	678	1.38	
	Mittel				10.1	2171	17.8		938	684	1.37	
	Mittel korr.								985	707	1.39	
1.25 Minuten nach Arbeit	7./5.	1.10	11	21.0	10.4	2026	17.2	17.15	813	462	1.76	
1.50 Minuten nach Arbeit	8./5.	1.02	11	17.0	10.8	1713	14.7	15.5	715	476	1.50	
	Mittel				10.6	1870	16.0		764	469	1.63	
	Mittel korr.								748	435	1.72	
3.6 Minuten nach Arbeit	8./5.	1.215	13	15.1	10.7	1280	16.5	11.6	446	373	1.20	

Tabelle II b.

E. H. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red., Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Arbeit	24./10.	13.3	565	42.5	524	12.3			
	24./10.	10.9	595	54.5		9.6			
	Mittel			48.5	524	10.95			
Anfang unmittelbar nach Arbeit	24./10.	14.7	1102	75.0	707	9.4	(88)	104	
	27./10.	13.1	1038	79.5		8.9	(80)	108	
	Mittel			77	707	9.15			
Anfang 1 Min. nach Arbeit	24./10.	12.1	554	46	(550)	12.0			
	28./10.	10.6	604	57		9.65	76	127	
	29./10.	12.7	596	47		11.7	92	127	
	Mittel			50		11.1			
Anfang 2 Min. nach Arbeit	27./10.	10.75	465	43	(455)	10.5	76	138	
	28./10.	9.3	475	51		8.9	82	109	
	29./10.	9.4	456	48.5		9.4	76	124	
	Mittel			47.5		9.6			
Anfang 3 Min. nach Arbeit	27./10.	9.1	479	52.5	(415)	7.9	68	116	
Anfang 5 Min. nach Arbeit	28./10.	8.9	487	55	(345)	6.3	64	98	

393 ccm pro Minute gegen 539. Der Quotient steigt von 1·24 während der Arbeit auf 1·39, während die alveolare Ventilation unverändert bleibt; es kann also in diesem Falle von einem fortgesetzten Auswaschen von Kohlensäure durch „Überventilation" keine Rede sein, wie selbstverständlich auch nicht von einer Umlegung des Stoffwechsels.

Es wurden, wie die Tabelle zeigt, in dieser Versuchsreihe einzelne Versuche angestellt, die eine Vorstellung davon abgeben, auf welcher Kurve die untersuchten Funktionen zum Ruheniveau zurückkehren (vgl. Figg. 1 bis 5).

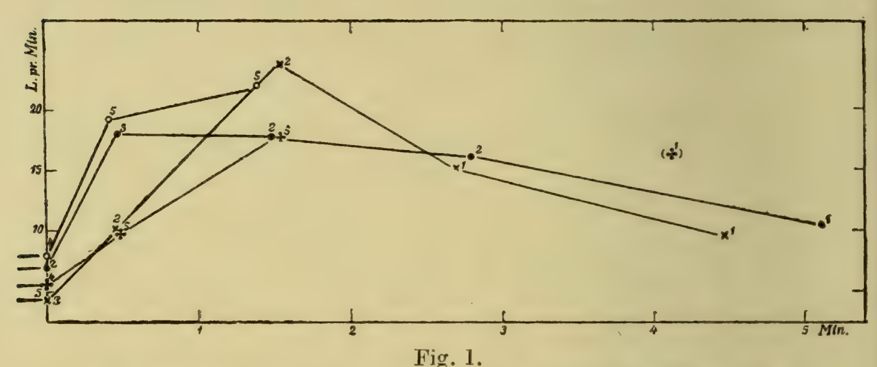


Fig. 1.

Alveolarventilation während und nach statischer Muskelarbeit.

o E. H. I ● E. H. II + O. F. × J. L. △ M. K.

(Signaturen von Figg. 1, 2, 3, 5.)

Was den Kreislauf betrifft, wird man sehen, daß die Arbeitsversuche Werte ergeben, die mit denen in der zuerst erwähnten Stellung identisch sind, und dasselbe scheint von den Versuchen unmittelbar nach Arbeit zu gelten, jedoch ist natürlicherweise das Minutenvolumen in diesen etwas kleiner, der kleineren Stoffwechselzunahme entsprechend. Auch über den Kreislauf liegen hier Versuche vor, die den weiteren Verlauf der Kurven veranschaulichen (Fig. 3). In betreff der Ausnutzung findet man, daß die hohen Werte, die sich unmittelbar nach Arbeit ergeben, im Laufe von ein paar Minuten wieder auf ein Niveau zurückkehren, das ungefähr demjenigen entspricht, das sich gegen den Schluß der Arbeit hin ergibt, worauf wieder eine Steigerung folgt, so daß man ungefähr bei der 5. Minute wieder den Ruhewert erreicht. Die angeführten Schwankungen des Minutenvolumens sind natürlicherweise weniger sicher, indem das direkt bestimmte Minutenvolumen auf eine Stoffwechselzahl reduziert ist, die sich durch Interpolation an der recht unsicheren Sauerstoffkurve ergeben hat.

Es ist jedoch kaum zu bezweifeln, daß das Minutenvolumen 1 Minute nach dem Schluß der Arbeit größer ist als unmittelbar nach der Arbeit, und daß es darauf recht gleichmäßig bis auf den Ruhewert hinabsinkt. Die Pulsfrequenz, die in dieser Versuchsreihe als richtig bestimmt zu

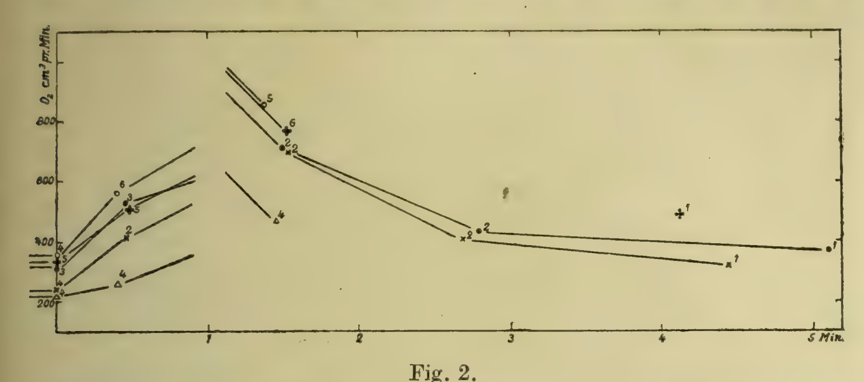


Fig. 2.
Sauerstoffaufnahme (korr.) während und nach statischer Muskelarbeit.

betrachten ist, sinkt gleichmäßig nach Arbeit, wohingegen das Schlagvolumen, das unmittelbar nach Arbeit nur ein wenig größer ist als in Ruhe, erst zunimmt und darauf nach ein paar Minuten wieder gegen die Norm hinabsinkt.

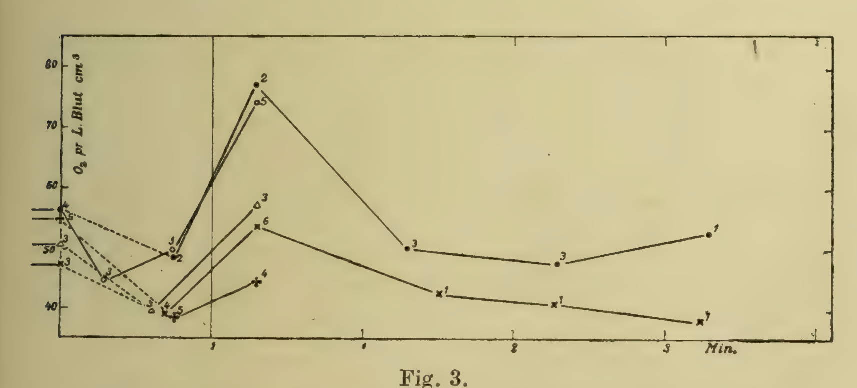


Fig. 3.
Sauerstoffaufnahme pro Liter Blut während und nach statischer Muskelarbeit.

Die Ruherespiration von O. F. ist von einem anderen Typus als die von E. H.; namentlich wird man bemerken, daß die Frequenz bedeutend höher und die Respirationstiefe geringer ist als bei E. H.

Tabelle III a.

O. F. Respirationsversuch. Beugehang mit Zwiegriff (Motirånhävhäng).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Liter pro Min. (Zimmertemp.)	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	18./6.	2.02		18.5				8.38	279	339	0.82	
	19./6.	2.535	37	23.8	14.6	712	6.72	8.62	304	358	0.85	
	19./6.	2.25	38	18.9	16.9	550	5.27	7.70	233	296	0.79	
	20./6.	1.99	27	15.0	13.8	604	4.97	6.87	241	340	0.71	
	20./6.	2.60	38	20.1	14.6	583	5.06	7.08	215	317	0.68	
	Mittel				15.0	612	5.50		254	330	0.77	
Arbeit	19./6.	0.931	18	12.5	19.4	768	9.9	12.35	461	477	0.97	
	19./6.	0.985	25	13.2	25.4	584	8.7	12.3	442	503	0.88	
	20./6.	0.93	(17)	11.3	(18.0	737	8.8)	11.1	384	484	0.79	
	20./6.	0.98	(17)	13.6	(24.0	886	10.7)	12.7	433	590	0.73	
	21./6.	0.97	21	14.85	22.0	784	11.35	13.95	512	605	0.85	
	Mittel				22.3	712	10.0		446	532	0.84	
	Mittel korr.								456	510	0.90	
Unmittelbar nach Arbeit	18./6.	1.077		20.8				17.7	944	797	1.185	
	19./6.	1.0765	9	20.4	8.35	2508	17.4	17.4	960	751	1.28	
	19./6.	1.16	12	24.9	10.8	2200	19.5	19.7	1047	778	1.35	
	20./6.	1.10	10	18.5	9.1	2050	15.1	15.4	825	766	1.08	
	20./6.	1.17	11	21.2	9.4	2135	16.4	16.6	878	792	1.11	
	21./6.	1.155	14	26.5	12.1	2099	20.7	20.9	1086	854	1.27	
	Mittel				9.95	2198	17.8		957	790	1.21	
	Mittel korr.								985	770	1.28	
2.6 Minuten nach Arbeit	21./6.	1.125		20.4				16.55	687	490	1.42	

Tabelle III b.

O. F. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red., Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	26./6.	8.83	435	49.5	330	6.7	81	83	
	26./6.	8.95	485	54.0		6.1	78	78	
	27./6.	7.85	425	54.0		6.1	83	74	
	27./6.	8.20	520	63.5		5.2	74	70	
	30./6.	8.43	433	51.5		6.4	72	89	
	Mittel			54.5	330	6.1			
Anfang 35 Sek. nach Arbeit	23./6.	20.0	844	42	510	12.1			
	23./6.	13.8	693	50		10.15			
	25./6.	24.0	814	34		15.0			
	28./6.	22.7	768	34		15.1			
	30./6.	20.0	662	33		15.4			
	Mittel			38.5	510	13.55			
Anfang unmittelbar nach Arbeit	27./6.	26.4	1055	40	770	19.3	120[1]	161	
	28./6.	26.7	995	37.5		20.4		172	
	30./6.	20.1	915	45.5		16.9		141	
	30./6.	17.1	954	55.5		13.8		115	
	Mittel			44.5	770	17.6			

[1] In einem einzelnen Versuch gezählt.

Der sehr niedrige Quotient an den beiden letzten Versuchstagen rührt gewiß von dem Umstand her, daß O. F. an diesen Tagen ganz nüchtern war, während er an den ersten Tagen eine sehr leichte Morgenmahlzeit genossen hatte. Die Stellung während der Arbeit sollte dieselbe sein wie bei E. H. in dessen erster Versuchsreihe; aber obgleich O. F. 10 kg mehr wiegt als E.H., ist die Stoffwechselsteigerung geringer, nur 180 ccm pro Minute gegen 243 bei E. H. Die Mechanik der Respiration verhält sich während der Arbeit ungefähr wie in Ruhe, d. h. die Frequenz ist hoch, die Respirationstiefe aber verhältnismäßig gering; das Gesamtresultat ist eine Vermehrung der alveolaren Ventilation von 5·5 bis auf 10·0 l pro Minute. Sogar diese bescheidene Vermehrung ist

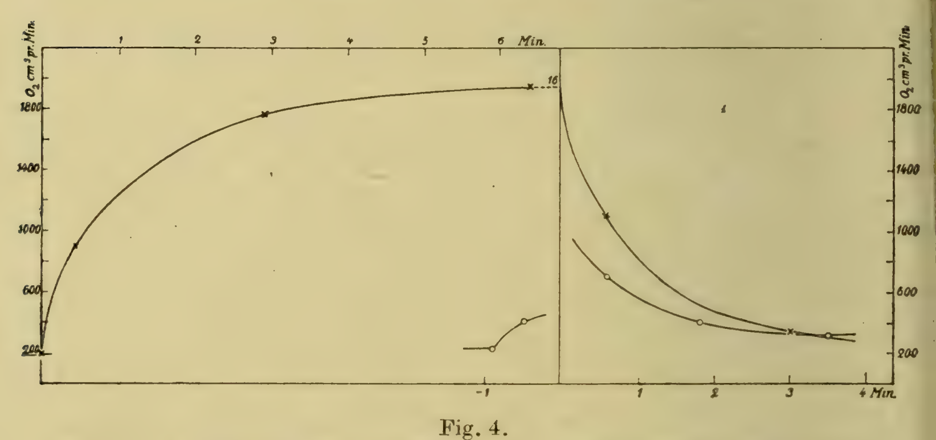


Fig. 4.
Vergleich zwischen den Sauerstoffkurven bei Arbeit am Cycle-Ergometer × und bei statischer Arbeit o.

indessen größer als die Stoffwechselsteigerung es zu beanspruchen scheint, und es kann daher nicht ausgeschlossen sein, daß die Steigerung des respiratorischen Quotienten, obschon sich dieser innerhalb normaler Grenzen hält, nur teilweise von einer Veränderung des Stoffwechsels während der Arbeit, sondern teilweise auch vom Auswaschen von CO_2 herrührt.

In den Versuchen unmittelbar nach der Arbeit sinkt die Frequenz bis auf weniger als die Hälfte des Arbeitswertes, sogar bedeutend unter den Ruhewert, während die Respirationstiefe bis aufs dreifache der Tiefe während der Arbeit oder fast das vierfache vom Ruhewert zunimmt und die alveolare Ventilation von 10·0 bis auf 17·8 l pro Minute vermehrt wird. Die Frequenz macht also dieselbe Bewegung

durch wie bei E. H.; während sie aber bei diesem nach der Arbeit nur verhältnismäßig wenig abnahm und den Ruhewert nicht erreichte, nimmt sie nach der Arbeit bei O. F. also bis auf subnormale Werte ab, was auf einen positiven Einfluß derjenigen Faktoren deutet, die für die Frequenz in dem Augenblick entscheidend sind, wo die Arbeit aufhört. Worin aber ein solcher Einfluß besteht, geht nicht aus den vorliegenden Versuchen hervor. Der Stoffwechsel steigt nach Aufhören der Arbeit bis auf 770 ccm pro Minute oder 440 ccm über den Ruhewert, gleichfalls steigt der Quotient stark, von 0·9 bis auf 1·28 oder 0·51 über den Ruhewert, was mehr ist als bei der ersterwähnten Versuchsperson.

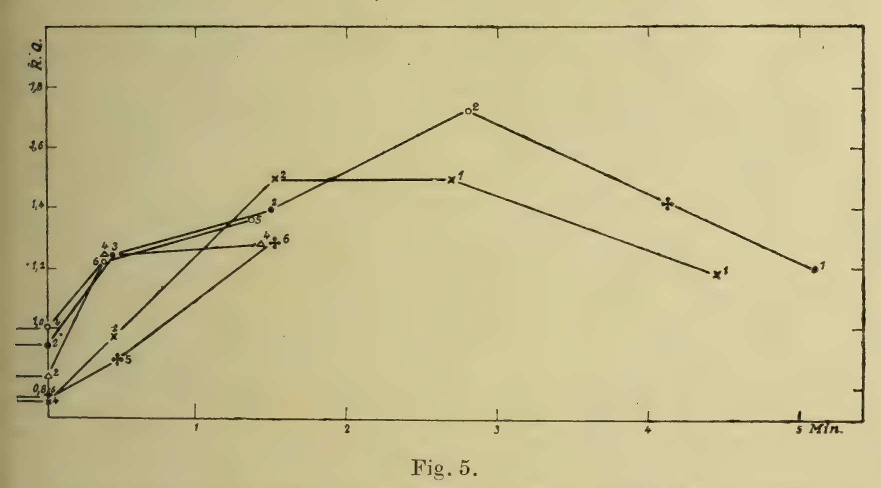


Fig. 5.

Der respiratorische Quotient während und nach statischer Muskelarbeit.

In betreff des Kreislaufes gehört O. F. zu einem von E. H. verschiedenen Reaktionstypus, wenn die Schwankungen in ihren Hauptzügen auch in beiden Fällen die gleichen Gesetze befolgen. Die Ruheversuche bedürfen keiner näheren Besprechung. Während der Arbeit nimmt das Minutenvolumen bis auf mehr als das Vierfache des Ruhewertes zu, während die Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes wie bei E. H. abnimmt. Die Arbeitsversuche mit dieser Versuchsperson wurden (wie die später zu erwähnenden) gegen Ende der Arbeitsperiode angestellt und entsprechen also der zweiten Versuchsgruppe in Tabelle Ib; es ist daher möglich, daß sie nicht das Minimum der Ausnutzung vertreten. Nach der Arbeit findet man eine weitere, starke

Tabelle IVa.

J. L. Respirationsversuch. Beugehang mit Zwiegriff (Motfrånhävhäng).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Liter pro Min. (Zimmertemp.)	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	17./9.	3.00		13.4				4.19	166	218	0.76	
	18./9.	3.01	16	15.2	5.3	1018	4.15	4.71	170	221	0.77	
	23./9.	3.10	16	16.1	5.2	1140	4.32	4.77	193	255	0.755	
	25./9.	3.20	14	15.7	4.4	1272	4.30	4.53	188	248	0.76	
	Mittel[1]				5.0	1143	4.26		179	236	0.76	
Arbeit	29./9.	0.98	8	11.1	8.2	1577	9.96	10.7	410	459	0.89	
	30./9.	0.88	8	10.4	9.1	1471	10.3	11.1	425	438	0.97	
	Mittel				8.65	1524	10.1		418	448	0.93	
	Mittel korr.								402	416	0.97	
Unmittelbar nach Arbeit	29./9.	1.17	17	33.0	14.5	2225	25.8	26.6	1109	754	1.47	
	30./9.	1.21	14	28.7	11.6	2327	21.8	22.4	949	684	1.39	
	Mittel				13.0	2276	23.8		1029	719	1.43	
	Mittel korr.								1033	691	1.49	
1.21 Minuten nach Arbeit	30./9.	1.20	13	20.25	10.8	1769	15.1	16.0	610	413	1.48	
	Mittel korr.								603	405	1.49	
2.87 Minuten nach Arbeit	29./9.	1.21	11	13.4	9.1	1383	9.55	16.4	374	318	1.18	

[1] Der Unterschied zwischen den beiden ersten und den beiden letzten Versuchen ist unzweifelhaft ein reeller.

Tabelle IVb.

J. L. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red., Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	16./9.	4.55	206	45.5	(218)	4.8	72	67	Stoffwechsel bestimmt 17./9.
	(25./9.	5.3	258	48.5	248	5.1	61	84	
	25./9.	7.1	271	38		6.5	57	114)	Störung unmittelbar vor dem Versuch
	26./9.	5.74	269	47	(248)	5.3	64	83	Stoffwechsel bestimmt 25./9.
	Mittel			47		5.1			
Arbeit	24./6.	11.2	348	31	416	13.4			
	6./10.	17.9	802	45		9.3			
	18./10.	14.5	572	39.5		10.6			
	18./10.	13.5	545	40.5		10.3			
	Mittel			39		10.9			
Unmittelbar nach Arbeit	24./6.	23.1	952	41	691	16.8	(132)	127	Puls nach anderen Versuchen gezählt
	26./9.	9.6	691	72		9.6		72	ergibt in:
	10./10.	12.5	903	72		9.6		72	15 — 30 — 45 — 60 Sek.
	11./10.	18.8	774	41		16.8		127	16./10. — 35 — — — 80 — —
	13./10.	14.5	745	51		13.4		102	18./10. — 35 — 60 — 84 — 102
	14./10.	18.35	813	44.5		15.6		118	Frequenz: 140 — 100 — 96 — 72
	Mittel			53.5		13.6			
Anfang $1^1/_2$ Min. nach Arbeit	30./10.	10.7	455	42.5	405	9.5	112	85	
Anfang $2^1/_4$ Min. nach Arbeit	31./10.	8.3	338	41	(320)	7.85	104	75	
Anfang $3^1/_4$ Min. nach Arbeit	30./10.	11.1	425	38	253	6.6	88	75	

Zunahme des Minutenvolumens, während die Ausnutzung nur wenig zunimmt und bei weitem nicht den Ruhewert erreicht. Das Schlagvolumen ist in diesen Versuchen ungefähr doppelt so groß wie in Ruhe; zu bemerken ist jedoch, daß der Puls nur in einem einzelnen Versuch gezählt wurde.

Die Ruheversuche in Tabelle IV a zerfallen insofern in 2 Gruppen, als die Sauerstoffaufnahme in den beiden ersten Versuchen geringer ist als in den beiden letzten. Der Unterschied ist unzweifelhaft ein reeller und rührt von der unregelmäßigen Lebensweise der Versuchsperson her; er ist aber andererseits nicht so groß, daß er eine Teilung der Versuche erfordert.

Die Versuche mit J. L. ähneln im übrigen, was die mechanische Seite der Respiration betrifft, den Versuchen mit E. H., während sie in betreff des Stoffwechsels und des Quotienten sich zunächst den Versuchen mit O. F. anschließen. Die Frequenz ist in Ruhe ungewöhnlich niedrig, steigert sich etwas während der Arbeit und erreicht in den Versuchen unmittelbar nach der Arbeit den für diese Versuchsperson sehr hohen Wert von 13 pro Minute, um sodann gleichmäßig und langsam zu sinken. Die Respirationstiefe und die alveolare Ventilation verlaufen nach durchaus entsprechenden Kurven. Der Stoffwechsel steigert sich während der Arbeit um 180 ccm pro Minute, worauf eine weitere Steigerung bis auf 691 ccm pro Minute oder 455 ccm über den Ruhewert folgt. Der respiratorische Quotient steigert sich während der Arbeit bis auf 0·97 und nach der Arbeit weiter bis 1·49 oder 0·73 über den Ruhequotienten. Erst nach ein paar Minuten beginnt der Quotient wieder zu sinken.

Die Kreislaufversuche weisen in Ruhe eine etwas niedrigere Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes auf als die früher besprochenen Versuche. Der Arbeitswert der Ausnutzung ist wie in den früheren Reihen geringer als in Ruhe, während die stark schwankenden Versuche unmittelbar nach der Arbeit wiederum eine Steigerung der Ausnutzung bis auf etwas über den Ruhewert ergeben. Versuche zu späteren Zeitpunkten weisen wie die entsprechenden Versuche mit E. H. eine Abnahme der Ausnutzung bis auf Werte auf, die niedriger sind als in Ruhe, während das Minutenvolumen gleichmäßig und langsam gegen den Ruhewert hin sinkt. Da indessen nur eine Reihe von Einzelbestimmungen vorliegen, darf man diesen Resultaten trotz ihrer Regelmäßigkeit keine entscheidende Bedeutung beimessen. Über die Pulsfrequenz liegen in dieser Versuchsreihe zuverlässigere Zählungen vor

als in den anderen Reihen, und diese Zählungen zeigen, daß die Frequenz die erste Viertelminute nach der Arbeit 140 pro Minute beträgt, daß sie darauf aber schnell sinkt, so daß sie in der letzten Viertelminute der ersten Minute nach der Arbeit bereits bis auf 72 pro Minute herabgekommen ist. Das Schlagvolumen schwankt bedeutend und unregelmäßig.

Die Versuche mit der weiblichen Versuchsperson Frl. M. K. weichen in mehreren Beziehungen von denen mit den männlichen ab. Während diese bei der Arbeit eine solche hängende Stellung einnahmen, daß sie den Kopf in der Höhe des Querbalkens hatten, hatte M. K. den Kopf über dem Querbalken, wodurch es ermöglicht wurde, durch eine stärkere Beugung des Ellbogens dem Querbalken näher zu kommen und in der Weise das Drehungsmoment des Körpergewichts in betreff der Ellbogengelenke zu vermindern. Die Stellung ist bei dieser Modifikation weniger anstrengend, so daß M. K. in den Arbeitsversuchen ungefähr dieselbe Versuchszeit innehalten konnte wie die männlichen Versuchspersonen. Bei der Stellungeinnahme „setzte" die Versuchsperson ein wenig vom Schemel „ab", eine Bewegung, die kaum in wesentlichem Grade den Stoffwechsel beeinflußt haben kann. Die Handstellung war dieselbe wie bei E. H. in der zweiten Versuchsreihe.

M. K. war in höherem Grade als die männlichen Versuchspersonen durch das Ungewöhnliche der Situation beeinflußt, was deutlich aus den Versuchen hervorgeht, die für mehrere von den Funktionen eine ganz regelmäßige, der Angewöhnung entsprechende Skala aufweisen; außerdem konnten aber kleinere Unregelmäßigkeiten im Verlaufe des Versuches, mißlungene Versuche und ähnliches leicht veranlassen, daß inkontrollable psychische Momente in den Versuchen eine Rolle spielten. Die Registrierung der Respirationen versagte in den Versuchen während und nach der Arbeit. Es gelang nur ein mal, in jeder von diesen Gruppen eine Zählung zu erhalten, welche Zählungen nicht einmal als durchaus zuverlässig zu betrachten sind. Daraus folgt wiederum, daß die Korrektion für die veränderte Zusammensetzung der Lungenluft in quantitativer Beziehung unsicher wird; über ihre Richtung besteht dagegen kein Zweifel.

Trotz der mangelhaften Zählung können wir feststellen, daß die Respirationsfrequenz während der Arbeit sehr stark zunimmt, während die Atmungstiefe nur verhältnismäßig wenig beeinflußt wird. Das Augenfälligste bei diesen Versuchen ist jedoch die sehr geringe Vermehrung der Sauerstoffaufnahme während der Arbeit, die un-

Tabelle V a.

Frl. M. K. Respirationsversuch. Beugehang mit Kammgriff (Frånhävhäng).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Liter pro Min. (Zimmertemp.)	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	7./10.	3.08	43	27.6	14.0	711	6.65	8.32	245	227	1.08	Psych. beeinflußt.
	8./10.	2.80	49	24.8	17.5	563	5.95	8.16	227	233	0.97	Psych. beeinflußt.
	9./10.	2.84	40	17.9	14.1	495	3.96	5.71	184	218	0.85	
	10./10.	3.18	48	18.5	15.1	426	3.31	5.26	173	209	0.83	
	Mittel				15.1	549	(4.97)		207	222	(0.93)	0.84[1]
Arbeit	7./10.	0.82		16.7				18.9	448	333	1.35	
	8./10.	0.73[2]	(19)	11.8	(26	688	11.85)	14.9	379	309	1.23	
	9./10.	0.835		12.6				13.6	388	358	1.08	
	10./10.	0.81		10.6				11.9	333	308	1.08	
	Mittel								387	327	(1.185)	1.08[3]
	(Mittel korr.								318	258	1.24)	
Unmittelbar nach Arbeit	7./10.	1.28		20.5				14.8	561	447	1.26	
	8./10.	1.42		21.6				14.0	580	446	1.30	
	9./10.	1.20		16.6				12.6	526	436	1.21	
	10./10.	1.23	(27)	20.2	(22	827	12.8)	14.9	637	491	1.30	
	Mittel								576	455	1.27	
	(Mittel korr.								602	470	1.28)	

[1] Die beiden letzten Versuche bezeichnen annehmbar das tatsächliche Niveau.

[2] Die Zeitbestimmung ein wenig unsicher, doch kaum über 2% vom Werte.

[3] Der Quotient in den beiden ersten Versuchen unzweifelhaft durch die ungewohnte Situation beeinflußt.

Tabelle V b.

Frl. M. K. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red. Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	13./10.	4.82	269	56	222	4.0	92	43	Puls psych. beeinflußt.
	13./10.	6.36	332	52		4.25	72	59	
	16./10.	6.50	285	44		5.05	86	59	
	Mittel			50.5	222	4.4			
Anfang 25 bis 30 Sek. nach Anfangen der Arbeit	14./10.	9.90	310	31.5	(258)[1]	8.2			
	16./10.	8.27	352	42.5		6.05			
	18./10.	8.70	392	45		5.7			
	Mittel			39.5	(258)	6.65			
Unmittelbar nach Arbeit	15./10.	10.4	652	62.5	(470)	7.5	120	62	Puls nach anderen Versuchen gezählt.
	17./10.	12.0	595	49.5		9.5		79	
	18./10.	11.3	667	59		8.0		67	
	Mittel			57	(470)	8.3			

[1] Die korrigierten Stoffwechselwerte sind in diesem Falle unsicher.

geachtet der größeren oder geringeren Unsicherheit der Korrektion unzweifelhaft kleiner ist als 100 ccm pro Minute. Unmittelbar nach der Arbeit beträgt die Stoffwechselsteigerung etwa 250 ccm O_2 pro Minute, obgleich die Versuche dieser Gruppe durchschnittlich von etwas längerer Dauer sind als in der entsprechenden Gruppe mit den männlichen Versuchspersonen. Wir treffen also hier dieselbe Bewegung der Sauerstoffaufnahme wie in den früher besprochenen Versuchen, sogar in ausgeprägtem Grade, dagegen sind die absoluten Ausschläge sehr klein. — Ferner ist nach der Arbeit die Frequenz unverändert hoch oder schwach abnehmend, das Respirationsvolumen zunehmend. Der respiratorische Quotient, der während der Arbeit über 1 steigt, steigt ferner nach der Arbeit wie bei den männlichen Versuchspersonen.

Auch in betreff der Kreislaufversuche waren bedeutende Schwierigkeiten zu überwinden, indem es M. K. große Anstrengungen zu kosten schien, Respirationen zu unternehmen, die hinreichend groß waren, um eine zuverlässige Mischung der Luft im Spirometer mit der Lungenluft sicherzustellen; auch konnte die Versuchsperson wegen der ungewohnten und sehr anstrengenden Stellung nur mit Schwierigkeit die etwas verwickelte Kreislauftechnik bemeistern. In den vorliegenden Versuchen sind diese Schwierigkeiten jedoch überwunden. Es muß indessen zugegeben werden, daß diese verhältnismäßig wenigen Versuche nicht ganz sichere Durchschnittswerte ergeben können. In den Ruheversuchen ist wahrscheinlich die Zahl der Ausnutzung etwas zu niedrig; dasselbe ist möglicherweise der Fall in den Arbeitsversuchen. Im ersteren Falle mag dies auf „Nervosität" beruhen, während es bei den Arbeitsversuchen annehmbar auf fehlende Übung zurückzuführen ist. Gegen die Versuche nach der Arbeit lassen sich kaum Einwände erheben. Im großen ganzen stimmen, wie man sieht, die Resultate der Kreislaufversuche mit denen früherer Versuche überein.

Faßt man die für alle 4 Versuchspersonen gemeinsamen Züge zusammen, so ergibt sich, daß der Übergang von Ruhe in statische Arbeit bei allen untersuchten Funktionen plötzlich vonstatten geht, und daß die stattfindenden Veränderungen, sowohl was Respiration als was Kreislauf betrifft, aller Wahrscheinlichkeit nach von dem von Krogh und Lindhard angewiesenen „Einstellungsmechanismus" herrühren. Ferner, daß der Übergang von statischer Arbeit in Ruhe in

mehreren Beziehungen eine Ähnlichkeit mit dem Übergang von der Arbeit am Ergometer in die Ruhestellung darbietet; andererseits können aber auch wesentliche Unterschiede vorliegen, die in entscheidender Weise die statische Arbeit im Gegensatz zur Arbeit am Ergometer kennzeichnen.

Die Frequenz ist nach der hier eingeschalteten Übersicht

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später
E. H. I	8.85	13.7	11.6	
E. H. II	8.1	11.5	10.1	10.6
O. F.	15.0	22.3	9.95	
J. L.	5.0	8.6	13.0	10.8
M. K.	15.2	(26)	(22)	

etwas höher während der Arbeit als in Ruhe vor der Arbeit. Nach der Arbeit steigert sich die Frequenz in einem Falle (J. L.), wo sie unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr niedrig ist, so niedrig, daß die nach der Arbeit stark vermehrte Ventilation eine Steigerung erforderlich macht, indem die Vermehrung der Respirationstiefe bei dieser Versuchsperson verhältnismäßig beschränkt ist. In allen anderen Fällen nimmt die Frequenz nach der Arbeit ab, was vielleicht nur eine Zurückkehr zur Norm bedeutet; doch geht sie in einem Falle (O. F.), wie früher bemerkt, länger hinab als bis zu dem gewöhnlichen Ruhewert.

Die Respirationstiefe (bei 37°) verhält sich wie folgt:

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später
E. H. I	1212	1757	2345	
E. H. II	1066	1828	2171	1870
O. F.	612	712	2198	
J. L.	1143	1524	2276	1769
M. K.	549	(688)	(827)	

Die Tabelle zeigt, daß die Atmungstiefe in allen Fällen größer ist während als vor der Arbeit, am größten aber unmittelbar nach der Arbeit, worauf sie gleichmäßig abnimmt. Innerhalb dieser Rahmen sind indessen die individuellen Verschiedenheiten sehr groß.

Die alveoläre Ventilation (Zimmertemperatur) ist in der folgenden Tabelle angeführt (vgl. Fig. 1):

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später
E. H. I	8.0	19.3	22.0	
E. H. II	6.3	18.0	17.8	16.0
O. F.	5.5	10.0	17.8	
J. L.	4.3	10.1	23.8	15.1
M. K.	(5.0	11.85	12.8)	

Wie man sieht, ist die Ventilationsvermehrung von Ruhe auf Arbeit eine sehr bedeutende. Bei 2 von den Versuchspersonen setzt sich die starke Vermehrung nach der Arbeit fort, während sie bei den beiden anderen Personen gering ist oder fehlt.

Die Sauerstoffaufnahme erhellt aus der folgenden Übersicht in Verbindung mit Fig. 2:

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später	Ungefähre Stoffwechselsteigerung O_2 ccm
E. H. I . .	344	557	853		1424
E. H. II . .	314	524	707	435	1025
O. F. . . .	330	510	770		1300
J. L. . . .	236	416	691	405	1125
M. K. . . .	222	258	470		710

Der Grund dazu, daß vom Stoffwechsel nur die Sauerstoffaufnahme besprochen wird, ist, daß man nur diese als für die Größe des Umsatzes maßgebend betrachten kann, wogegen die Kohlensäureausscheidung, wie eine spätere ausführliche Besprechung des Verhaltens des Quotienten dartun wird, in hohem Grade von ganz anderen Momenten beeinflußt wird.

Allen Versuchsreihen gemeinsam ist eine mäßige Steigerung des Sauerstoffverbrauchs während der Arbeit, eine darauf folgende starke Steigerung beim Aufhören der Arbeit, auf die ein zu Anfang recht jäher, später aber gelinderer Abfall folgt. Aber die individuellen Unterschiede sind groß, und außerdem scheint sich eine Teilung der Versuche nach den in der hängenden Stellung verschiedenen Handstellungen geltend zu machen, indem E. H. II und M. K. einen geringeren Sauerstoffverbrauch aufweisen als E. H. I, O. F. und J. L. Dies sieht man namentlich deutlich bei Betrachtung der letzten Kolumne der Tabelle. Die angeführte Stoffwechselsteigerung muß als Minimum betrachtet werden, indem in der Berechnung vorausgesetzt wurde, daß die Kurve im Laufe von 6 Minuten das Ruheniveau erreicht hat, was — wenn überhaupt je — sicherlich nur ausnahmsweise der Fall ist. Andererseits ist der dadurch eingeführte Fehler sicherlich unbedeutend. Für J. L. — und dasselbe gilt hier annäherungsweise auch von E. H. II — ist die Berechnung der Stoffwechselsteigerung ungefähr ebenso zuverlässig wie die Stoffwechselbestimmung überhaupt; in den übrigen Reihen haftet ihr dagegen einige Unsicherheit an, indem die interpolierten Stücke der Kurve länger sind.

Was den Kreislauf betrifft, soll nur das reduzierte Minutenvolumen und die Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes in den 3 Hauptgruppen von Versuchen näher besprochen werden (vgl. Fig. 3).

	Ruhe		Arbeit		Unmittelbar nach Arbeit	
	Minuten-volumen	Aus-nutzung	Minuten-volumen	Aus-nutzung	Minuten-volumen	Aus-nutzung
E. H. I . . .	5.5	56.5	11.3	49.5	12.3	74
E. H. II . . .			10.95	48.5	9.15	77
O. F.	6.1	54.5	13.55	38.5	17.6	44.5
J. L.	5.1	47	10.9	39	13.6	53
M. K.	4.4	50.5	6.65	39.5	8.3	57

Die Tabelle zeigt, daß das Minutenvolumen bei statischer Arbeit wie bei Arbeit am Ergometer vermehrt wird, und daß die mechanische Veränderung des Kreislaufes in keinem angemessenen Verhältnisse steht zur Stoffwechselsteigerung, sondern wie die Veränderungen der Respirationsmechanik weit über dasjenige hinausgeht, was diese fordert, was sich in betreff des Kreislaufes dadurch zu erkennen gibt, daß die Ausnutzung des Sauerstoffs des Blutes — im Gegensatz zu dem Ergebnis aller anderen Arbeitsversuche — geringer wird während der Arbeit als in Ruhe. Beim Aufhören der Arbeit findet man neben der Stoffwechselsteigerung eine starke Vermehrung der Ausnutzung oder des Minutenvolumens oder eine Kombination beider Teile, indem natürlicherweise die Vermehrung der Ausnutzung um so größer ist, je weniger das Minutenvolumen vermehrt wird, und umgekehrt. In einem Falle (E. H. II) findet man sogar in der ersten Minute nach Aufhören der Arbeit neben einer sehr großen Ausnutzung eine Verminderung des Minutenvolumens. Spätere Versuche zeigen, daß die Ausnutzung in den folgenden 2 bis 3 Minuten auf subnormale Werte abnimmt.

Die Angaben über den Puls sind gewöhnlich mangelhaft, indem es nicht gelang, den Puls während der statischen Arbeit zu zählen, wie es auch oft unmöglich ist, den Puls in unmittelbarem Anschluß an einen Kreislaufversuch zu zählen. Der Puls wurde gewöhnlich nach den Arbeitsversuchen gezählt, nach welchen keine Kreislaufbestimmungen stattfanden, aber auch hier kann es schwierig sein, die Zählung rechtzeitig zu beginnen. Am besten gelangen ein paar Zählungen an

J. L., welche zeigen, daß der Puls unmittelbar nach und somit sicherlich auch während der Arbeit höher ist, als man erwarten konnte, wenn man die Größe des Stoffwechsels in Betracht zieht. Eine Pulsfrequenz von 140 pro Minute entspricht in den Ergometerversuchen einer Sauerstoffaufnahme von 1400 bis 1500 ccm pro Minute. Andererseits scheint der Puls sehr schnell auf das Ruheniveau zurückzukehren — insofern man aus dem sehr spärlichen Material etwas schließen darf.

Will man mit wenig Worten das Wesentliche, das für die statische Arbeit Charakteristische im Gegensatz zur Arbeit am Ergometer unterstreichen, so muß man hervorheben, daß die Sauerstoffaufnahme bei statischer Arbeit auffallend gering ist, und daß die Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes während der Arbeit unter den Ruhewert hinabsinkt, während man beim Aufhören der Arbeit eine starke Vermehrung der Sauerstoffaufnahme und eine bedeutende Besserung der Ausnutzung vorfindet.

Man kann dazu bemerken, daß die statische Arbeit in den vorliegenden Versuchen so kurzwierig ist, daß man sie nur mit ebenso kurzwieriger Arbeit am Ergometer vergleichen darf, und in den ganz kurzwierigen Ergometerversuchen ist die Sauerstoffaufnahme auch weit zurück, so daß die gesamte Sauerstoffaufnahme nach Beendigung der Arbeit unzweifelhaft größer werden kann als während der Arbeit, jedenfalls wenn es sich um eine sehr kurzwierige und sehr intensive Arbeit handelt. Es liegen aber keine Beispiele davon vor, daß der Stoffwechsel in gleich langen Perioden unmittelbar vor und nach Beendigung der Arbeit in Ergometerversuchen in der zuletzt genannten Periode am größten ist. Die Sauerstoffkurve fällt beim Aufhören der Arbeit in allen bisher bekannten Ergometerversuchen, auch in solchen, bei denen direkt darauf abgezielt wurde, daß das entgegengesetzte Verhältnis, wenn es vorlag, sich manifestieren sollte. Der Unterschied des Verlaufes der Sauerstoffkurve bei Ergometerarbeit und bei statischer Arbeit geht sehr deutlich aus Fig. 4 hervor. Die Ordinaten geben in Fig. 4 die Sauerstoffaufnahme in Kubikzentimetern pro Minute, die Abszissen die Zeit in Minuten an. Unten ist diese von der Beendigung der Arbeit an gerechnet, die durch eine voll ausgezogene Linie markiert ist, oben dagegen vom Anfang der Arbeit an. Die obere Kurve vertritt einen Ergometerversuch mit J. L., die untere einen Versuch unter statischer Arbeit mit derselben Versuchsperson (Tabelle IV). Im Ergometerversuch findet man — bei planimetrischer

Vermessung des Areals — bevor die Kurve nach 5 bis 6 Minuten ihr bleibendes Niveau erreicht, ein Sauerstoffdefizit von ungefähr 1850 ccm; dies Defizit wird nicht während der Arbeit, sondern erst nach Beendigung derselben kompensiert. Mißt man das Areal der Sauerstoffkurve nach Beendigung der Arbeit, so findet man eben denselben Wert. Wenn diese Arbeit z. B. nach ein paar Minuten unterbrochen worden wäre, würde das Sauerstoffdefizit unzweifelhaft größer geworden sein als die in dieser Minute aufgenommene Sauerstoffmenge, die Kurve würde aber wie sonst bei Beendigung der Arbeit fallen, indem die Kompensation sich über mehrere Minuten erstreckt. Betrachtet man die untere Kurve, die unterbrochen gezeichnet ist, weil die Steigung, die im übrigen nach der O-Ordinate liegen muß, nicht mit Sicherheit anzugeben ist, so ist es klar, daß sich keine Kurve durch die gegebenen Punkte zeichnen läßt, ohne daß bei Beendigung der Arbeit eine starke Steigung entsteht, aller Wahrscheinlichkeit nach sogar kräftiger ausgesprochen als an der Figur angedeutet. Diese Kurve läßt sich nicht planimetrisch messen; da aber die Versuche in dem wesentlichen Teil der Kurve kontinuierlich sind (es liegt nur ein kleines Intervall vor zwischen dem zweiten und dritten Versuche nach Arbeit, dessen Wert leicht interpoliert werden kann), so läßt sich die gesamte Stoffwechselsteigerung mit recht großer Sicherheit bestimmen. Sie beträgt in diesem Falle etwa 1123 ccm, wovon 168 ccm auf die Arbeitsperiode und 955 auf die ersten 6 Minuten nach derselben entfallen, indem von der verhältnismäßig geringen Vermehrung der Sauerstoffaufnahme in den folgenden Minuten abgesehen wird.

Das eigentümliche Verhalten der Sauerstoffaufnahme während und nach statischer Arbeit läßt sich nicht als eine Folge davon erklären, daß der gewöhnliche Regulationsmechanismus verhältnismäßig langsam seine volle Entfaltung erreicht. Sicherlich ist, wenn die gleichzeitigen Variationen des Kreislaufes mit in Betracht gezogen werden, nur die Erklärung möglich, daß die statisch stark kontrahierten Muskeln ein mechanisches Hindernis für die Passage des Blutstroms durch die Muskeln bilden. Wenn dies der Fall ist, so ist es erklärlich, daß die Sauerstoffaufnahme während der statischen Arbeit verhältnismäßig wenig zunimmt, und daß somit das vermehrte Minutenvolumen nur eine schlechtere Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes bewirkt, ferner, daß der Stoffwechsel, indem die auf vermehrte Zirkulation eingestellten Muskeln abgespannt werden, plötzlich und stark zunehmen muß. Es wird daher notwendig sein, zu unter-

suchen, ob diese Annahme die bei statischer Arbeit schnell eintretende Müdigkeit erklären kann, und ob ihre sonstigen Konsequenzen mit den vorliegenden Versuchsresultaten in Übereinstimmung zu bringen sind.

Wenn der Blutstrom durch einen Muskel unterbrochen wird, muß dieser anaerob arbeiten. Nun weiß man natürlicherweise nicht, ob der Blutstrom während der statischen Arbeit vollständig unterbrochen wird, oder ob er nur insuffizient ist. Während der Einnahme einer komplizierten Stellung müssen viele Muskeln gespannt werden, einige hart, nämlich diejenigen, welche die eigentliche Arbeit ausführen, andere weniger hart, indem sie nur sekundären, korrektiven oder ähnlichen Zwecken dienen. Es kann oft in den arbeitenden Muskeln ein lebhaftes Zittern entstehen als Anzeichen davon, daß die Kontraktion in verschiedenen Bündeln alterniert. Da die Stoffwechselzunahme verhältnismäßig klein ist, solange die Arbeit vor sich geht, liegt es nahe, anzunehmen, daß in einem gewissen Maße in den akzessorisch arbeitenden Muskeln eine Zirkulation stattfindet, während der Blutstrom in den eigentlich arbeitenden, hartgespannten Muskeln, praktisch gesprochen, jedenfalls solange unterbrochen ist, wie diese permanent und total kontrahiert sind, d. h. solange kein Zittern auftritt. Wenn dies richtig ist, muß die statische Arbeit, wie sie hier definiert worden ist, dasselbe bedeuten wie anaerobe Arbeit. Der Stoffwechsel des Muskels bei anaerober Arbeit wurde von Fletcher und Hopkins (13) untersucht; sie fanden, daß sich unter diesen Verhältnissen im Muskel Milchsäure bildet, und daß der Muskel schnell ermüdet. Der Ermüdungsgrad scheint der Menge der gebildeten Milchsäure proportional zu sein. Wenn man darauf dem Muskel Sauerstoff zuführt, wird die Milchsäure unter Kohlensäureproduktion und Wärmeentwicklung verschwinden. Handelt es sich um größere Mengen von Milchsäure, wird jedoch immer ein Teil davon nicht mit in den Oxydationsprozeß im Muskel hineingezogen, sondern vom Blutstrom fortgeführt werden, um sich allmählich durch die Nieren auszuscheiden. Einige Minuten nach strenger Muskelarbeit kann man daher Milchsäure im Harn nachweisen (Ryffel) (14). Wenn es sich so verhält, so ist anzunehmen, daß die in den hier besprochenen Versuchen statisch arbeitenden Muskeln in einem so großen Maße Milchsäure bilden, daß im Laufe von ungefähr 1 Minute ein so hoher Grad von Ermüdung eintritt, daß die Muskeln der Belastung gegenüber nachgeben. Wenn die Muskeln dann plötzlich abgespannt werden, findet, wie die Stoff-

wechselzunahme zeigt, eine lebhafte Oxydation statt; da aber die Milchsäurekonzentration annehmbar eine sehr bedeutende ist, hat man zu erwarten, daß Milchsäure in verhältnismäßig großen Mengen in den Kreislauf übergeht. Die Annahme, daß die bei statischer Arbeit schnell auftretende starke Ermüdung von einer Anhäufung von Milchsäure im Muskel herrührt, die eine Folge davon ist, daß der Muskel anaerob arbeitet, gewinnt also an Wahrscheinlichkeit, wenn man dartun kann, daß unmittelbar nach einer statischen Arbeit im Blute fixe Säuren in verhältnismäßig bedeutenden Mengen auftreten.

Wenn Milchsäure oder andere fixe Säuren in das Blut übergehen, muß daraus eine Austreibung von CO_2 erfolgen, und eine solche wird sich eventuell durch eine Steigerung des respiratorischen Quotienten zu erkennen geben. Es wird daher angebracht sein, dem Quotienten und den übrigen Verhältnissen, die hiermit in Verbindung stehen, eine eingehendere Aufmerksamkeit zu widmen.

Unter gewöhnlichen stabilen Verhältnissen wird die Lungenventilation in der Weise reguliert, daß die alveoläre CO_2-Spannung und somit die Blutreaktion — wir sehen von der renalen Regulation ab — konstant gehalten werden. Der respiratorische Quotient ist unter diesen Verhältnissen ein Ausdruck der Summe der im Organismus verlaufenden Stoffwechselprozesse. Wenn der Stoffwechsel zunimmt, so muß, ceteris paribus, die alveoläre Ventilation vermehrt werden und die alveoläre CO_2-Spannung etwas zunehmen, um so mehr, je geringer die Empfindlichkeit des Respirationszentrums für H-Ionen ist; dagegen muß der respiratorische Quotient unverändert bleiben, wenn die Änderung des Stoffwechsels eine rein quantitative ist. Wenn die Empfindlichkeit des Respirationszentrums vermehrt wird, muß die alveoläre CO_2-Spannung abnehmen, und die Alveolarventilation wird daher vermehrt. Wenn die Verhältnisse aufs neue ein konstantes Niveau erreicht haben, wird eine gewisse Menge CO_2 vom Organismus ausgewaschen worden sein, und solange die Veränderung dauert, wird der respiratorische Quotient daher erhöht, also kein Ausdruck von der Art des Stoffwechsels sein. Treten im Blute fixe Säuren auf, die teilweise die Kohlensäure substituieren, so wird diese ausgetrieben werden, was als eine Vermehrung des Stoffwechsels wirken wird, jedoch mit dem Unterschied, daß die alveoläre Kohlensäurespannung, wenn das Gleichgewicht wieder etabliert worden ist, niedriger sein wird als zuvor, indem die reduzierte Wasserstoffzahl des Blutes kleiner sein wird. Der respiratorische Quotient wird, solange die Austreibung

von CO_2 dauert, erhöht sein. Wenn die fixe Säure allmählich eliminiert wird, oder wenn die Empfindlichkeit des Respirationszentrums für H-Ionen vermindert wird, so wird — bei unverändertem Stoffwechsel — die alveoläre Ventilation vermindert, die alveoläre Kohlensäurespannung zunehmen und der respiratorische Quotient, solange die Veränderung dauert, vermindert werden und also auch unter diesen Umständen die Stoffwechselprozesse nicht abspiegeln. Wenn das Auftreten von fixer Säure im Blute mit einer Abnahme der Empfindlichkeit des Respirationszentrums zusammenfällt, wird man eine gesteigerte alveoläre CO_2-Spannung in Verbindung mit einem erhöhten Quotienten und einer unveränderten alveolären Ventilation vorfinden können.

Inwiefern der in einem gegebenen Respirationsversuch gefundene respiratorische Quotient ein Ausdruck von der Art des Stoffwechsels ist oder nicht, kann man nicht direkt entscheiden. Die Änderungen der Empfindlichkeit des Respirationszentrums können momentan auftreten und einen zuvor ruhigen Versuch stören, ohne daß man imstande ist, den Ursprung der Empfindlichkeitsänderung aufzudecken; sie können aber unzweifelhaft auch nach und nach stattfinden, indem sich eine geringe „Überventilation" längere Zeit hindurch fortsetzt. Gewöhnlich hat man nur die Länge der Vorperiode, die Dauer des Versuches, eventuell die größere oder geringere Homogenität einer Versuchsreihe als Maßgabe für die Beurteilung des Quotienten. Nur wenn der Quotient die Grenze 0·7 bis 1·0 überschreitet, liegen im allgemeinen zwingende Gründe vor, anzunehmen, daß der Quotient von der Mechanik der Respiration beeinflußt worden ist; namentlich gilt dies, wenn der Quotient in aufwärts gehender Richtung abgeändert wird. Ein Quotient > 1 kann als Ausdruck des Stoffwechsels nur vorkommen, wenn C-Hydrat in Fett umgelagert wird; wenn daher plötzlich in einem Versuch Quotienten von weit über 1 auftreten, darf man annehmen, daß entweder infolge einer gesteigerten Empfindlichkeit des Respirationszentrums oder wegen eines Auftretens von fixen Säuren im Blute eine Kohlensäureauswaschung stattfindet.

In den oben referierten Versuchen besitzen wir Mitteilungen über den Stoffwechsel und die Alveolarventilation, ferner läßt sich die alveoläre CO_2-Spannung berechnen; dagegen erfordert eine Untersuchung der Empfindlichkeit des Respirationszentrums und der Blutreaktion besondere Versuche. Das Resultat solcher Versuche werden wir im Folgenden mitteilen.

Die Luftspannungen in den Lungen sind, nach der Bohr-Zuntzschen Formel berechnet, in untenstehender Übersicht angeführt. Da die Größe des „schädlichen Raumes“ nicht genau bekannt ist, muß man mit einer geringeren Unsicherheit der Resultate rechnen. An der Richtung der Variation von Gruppe zu Gruppe läßt sich gewiß nicht zweifeln, wenn auch die Zunahme nach der Arbeit bei J. L., wenn sie als vereinzelte Erscheinung vorläge, kaum als eine Tatsache zu betrachten wäre.

	Ruhe %		Arbeit %		Unmittelbar nach Arbeit %		Später %	
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2
E. H. I	4.67	16.25	3.81	17.50	5.59	16.50		
E. H. II	4.94	15.81	4.10	17.35	5.69	16.54	5.09	17.60
O. F.	4.78	14.98	5.09	15.55	5.88	16.11		
J. L.	4.88	15.30	4.42	16.30	4.62	17.42	4.33	17.75
M. K.	5.18	14.92	(3.80	17.40	5.19	16.65)		

In 4 von den fünf Reihen findet man eine niedrigere alveoläre CO_2 Spannung während der Arbeit als in Ruhe vor derselben, in einem Falle (O. F.) dagegen eine Zunahme im Arbeitsversuche von 0·3%; in allen fünf Reihen ist die O_2-Spannung höher während der Arbeit als in Ruhe. Beim Aufhören der Arbeit steigt die CO_2-Spannung in allen Fällen; während die O_2-Spannung in 2 Fällen eine fortgesetzte Zunahme aufweist, nimmt sie in den 3 übrigen Versuchsreihen ab. In den beiden Versuchsreihen, in denen eine vierte Gruppe von Versuchen vorliegt, findet man eine Abnahme der CO_2-Spannung und eine Zunahme der O_2-Spannung.

Die Tabelle VI enthält eine Versuchsreihe mit E. H., die zwecks Feststellung der Empfindlichkeit des Respirationszentrums angestellt wurde. Diese Versuche fanden statt unter denselben Bedingungen wie die Versuche in Tabelle I, jedoch mit dem Unterschied, daß bei diesen Versuchen ein 2 Liter-Mischungsbehälter zwischen Mundstück und Respirationsventil eingeschaltet war. Da indessen zwischen diesen Versuchen und den Versuchen in Tabelle I 8 Monate verstrichen waren, kann es vielleicht zweifelhaft sein, ob man einen direkten Vergleich zwischen den beiden Versuchsreihen anstellen darf, wenn sie auch im wesentlichen ganz dieselben Resultate ergeben.

Was die Ruheversuche betrifft, so wurde infolge des vergrößerten

Tabelle VI.

E. H. Respirationsversuch. Beugehang mit Zwiegriff (Motfrånhävhäng). Inspiration aus 2 Liter-Mischungsbehälter.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1920 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Ventilation pro Min., Liter 0° 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Alv. CO_2 Haldane Exsp. %	Bemerkungen
Auf dem Schemel stehend	26./1.	2.97	28	38.5	9.4	1542	12.1	231	284	0.82	5.97	
	27./1.	3.35	30	41.2	9.0	1525	11.3	223	284	0.79	5.92	
	28./1.	3.28		43.0			12.0	225	274	0.82	6.20	
	Mittel				9.2	1533		226	281	0.81	6.03	
Arbeit	26./1.	0.87	11	24.8	12.65	2520	29.6	538	617	0.85	6.06	
	27./1.	0.79	11	25.3	13.9	2550	29.2	604	712	0.85	5.52	
	28./1.	0.85	11	25.5	12.95	2575	27.55	521	626	0.83	5.61	
	Mittel				13.2	2550		555	632	0.855	5.73	
Unmittelbar nach Arbeit	26./1.	1.38	12	51.45	8.7	4800	34.75	946	740	1.28		
	27./1.	1.40	18	53.7	12.9	3300	35.0	984	693	1.42	7.55	
	28./1.	1.02	14	39.35	13.7	3130	35.4	923	808	1.15	7.18	
	Mittel							953	747	1.28	7.36	

„schädlichen Raumes" die Mechanik der Respiration verändert; sowohl die Frequenz als die Respirationstiefe und die Ventilation geben etwas höhere Werte als in Tabelle I. Der Stoffwechsel ist dagegen ungefähr 10% niedriger, und der Quotient ist gleichfalls bedeutend niedriger als in den ersten Versuchen, teilweise vielleicht weil die letzten Versuche etwas später am Tage stattfanden; im übrigen ist aber die Ursache unbekannt. In den Versuchen während und nach der Arbeit ist die Frequenz dieselbe wie in den entsprechenden Gruppen von Tabelle I, aber die Ventilation und also auch die Atmungstiefe sind sehr bedeutend vergrößert. Der Stoffwechsel verhält sich wie in den früheren Versuchen, wenn in Betracht gezogen wird, daß die beiden ersten Versuche der dritten Gruppe etwas länger dauerten als bei den Versuchen zu diesem Zeitpunkt gewöhnlich. Der Quotient dagegen verhält sich ganz anders als früher, indem er während der Arbeit ein wenig zunimmt und erst nach derselben die für E. H. gewöhnlichen hohen Werte erreicht. Die Variationen des Quotienten entsprechen also denjenigen, die man bei O. F. in Tabelle IIIa findet. In den hier behandelten Versuchen wurden außerdem — wie im übrigen unter den Versuchen in Tabelle I — Haldane-Priestley-Exspirationsproben entnommen. Die Versuche in Ruhe wurden angestellt nach einer Vorperiode von etwa 10 Minuten, wo die Respiration vollständig ruhig schien; die Versuche während und nach der Arbeit naturgemäß ohne Vorperiode. Die Zahlen in ( ) in der Tabelle bezeichnen die Anzahl von Bestimmungen. Die Übereinstimmung zwischen den einzelnen Versuchen war eine untadelhafte. Da die H-P-Probe in dem ersten Versuch der dritten Gruppe fehlt, die im übrigen in mehreren Beziehungen von den beiden anderen abweicht, wurde auch in den beiden ersten Gruppen von der entsprechenden Probe abgesehen. Die Versuchsresultate sind, insofern sie die Empfindlichkeit des Respirationszentrums betreffen, in Tabelle VII aufgeführt.

Die in der Tabelle angegebenen Differenzen sind, was die Ventilation betrifft, unzweifelhaft größer, als sie sein würden, falls die alveoläre Ventilation berechnet würde, indem der große „schädliche Raum" bei zunehmender Respirationstiefe mehr und mehr effektiv wird. Dafür ist wahrscheinlicherweise auch der Unterschied zwischen den gefundenen Alveolarspannungen größer, als er sein würde, falls die mittleren Spannungen berechnet würden. Bei der ersten Versuchsreihe ist der Unterschied zwischen den mittleren Spannungen und den H-P-Proben bekannt; falls man, die größere Respirationstiefe be-

Tabelle VII.

	Ruhe			Arbeit			Unmittelbar nach Arbeit		
	Frequenz	Tiefe	Ventil.-Versuch Ltr./Min.	Frequenz	Tiefe	Ventil.-Versuch Ltr./Min.	Frequenz	Tiefe	Ventil.-Versuch Ltr./Min.
Normalversuch	8·85	1212	8·8	13·7	1757	20·5	11·6	2345	21·9
Großer „Schädl. Raum“ . . .	9·2	1533	11·8	13·2	2550	27·8	11·8	3215	35·1
Differenz			**3·0**			**7·3**			**13·2**

	Alveol. CO_2-Spannung, H.-P.-Exsp.			Alveol. CO_2-Spannung, Mittel			Anm.
	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	
Normalversuch	(4) 5·25	(2) 5·15	(2) 6·58	(4) 4·67	(4) 3·81	(4) 5·59	berechnet
Großer „Schädl. Raum“ . . .	(2) 6·02	(2) 5·54	(2) 7·37	5·37	4·00	6·12	geschätzt
Differenz	**0·77**	**0·39**	**0·79**	0·70	0·19	0·53	
CO_2 im Mischungsbehälter . .	3·3	3·2	3·4				

rücksichtigend, die mittlere Spannung in der letzten Versuchsreihe abschätzt, erhält man, wie die Tabelle zeigt, bedeutend kleinere und wahrscheinlich richtigere Differenzen. In allen Fällen scheinen die Zahlen darauf zu deuten, daß die Empfindlichkeit des Zentrums während der Arbeit gesteigert worden ist, und daß sie danach abnimmt, ohne doch bis zu dem Ausgangswert zurückzukehren. Absolut betrachtet, scheint die Empfindlichkeit im ganzen gering zu sein.

Schließlich ergaben die früher erwähnten Bestimmungen der Blutreaktion die in der Tabelle VIII erwähnten Resultate.

Tabelle VIII.

Bestimmung der Reaktion des Blutes.

Versuchsperson	1919 Datum	Versuchsbedingungen	CO_2-Spannung mm	CO_2 Vol.-%	CO_2 Vol.-% cm 40 mm	Red. Wasserstoffzahl
E. H.	6./12.	Ruhe	41·9	45·8	*) 45·0	7·28
	6./12.	„	41·9	46·2		
	5./12.	$^1/_6$—2 Minuten nach 65 Sekunden stat. Arbeit	44·0	42·3	40·5	7·235
	6./12.	unmittelbar nach 60 Sekunden stat. Arbeit	41·9	39·8	39·1	7·22
J. L.	5./12.	Ruhe	41·7	44·4	*) 44·0	7·27
	5./12.	„	41·7	44·9		
	3./12.	$^1/_6$—$2^1/_2$ Minuten nach 55 Sekunden stat. Arbeit	40·6	41·0	*) 40·6	7·235
	3./12.	desgl.	40·6	41·0		
	2./12.	$^1/_2$—1 Minute nach 60 Sekunden stat. Arbeit	43·1	41·0	39·8	7·23

*) Dieselbe Blutprobe.

Wie die Tabelle zeigt, ergeben beide Versuchspersonen dasselbe Hauptresultat, nämlich eine Verminderung der reduzierten Wasserstoffzahl (p_H bei 40 mm CO_2-Spannung, Hasselbalch) (15) unmittelbar nach Beendigung der Arbeit. Es scheint bei beiden Versuchspersonen ein Unterschied der beiden Bestimmungen zu bestehen, indem die am schnellsten entnommene Blutprobe den niedrigsten p_H-Wert ergibt. Da die Respirationsversuche, die hier erörtert werden

sollen, nur ein wenig länger als eine Minute dauerten, wird es am besten sein, die niedrigsten Werte zu betrachten, indem diese also von Blutproben herrühren, die innerhalb der Versuchsperiode entnommen wurden. Infolge einer statischen Arbeit von 1 Minute ist das Kohlensäurebindungsvermögen des Blutes bei 2 Versuchspersonen also um bzw. 6 und 4 Volumenprozent herabgesetzt worden.

Vergleichen wir danach die Tabellen und Kurven über die Respirationsversuche, so sieht man leicht, daß beide Versuchsreihen mit E. H. sowie die Versuche mit M. K. bei Arbeit eine Gruppe bilden, während die Arbeitsversuche mit O. F. und J. L. eine andere bilden. In ersterer Gruppe findet man eine sehr starke Vermehrung der alveolären Ventilation in Verbindung mit einer starken Quotientensteigerung, während die alveoläre CO_2-Spannung trotz der Stoffwechselvermehrung eine ausgesprochene Abnahme aufweist. Vergleichen wir dies mit den Versuchsresultaten von Tab. VII, so ist kaum zu bezweifeln, daß bei diesen Versuchspersonen eine starke Steigerung der Empfindlichkeit des Respirationszentrums während der Arbeit besteht. In der anderen Gruppe treffen wir eine mäßige Vermehrung der alveolären Ventilation und des Quotienten, während die alveoläre CO_2-Spannung, die im übrigen nur wenig abgeändert wird, sich verschieden verhält. In früheren Versuchen von Krogh und Lindhard (16) finden wir eine tatsächliche Steigerung des respiratorischen Quotienten beim Übergang von Ruhe zu Arbeit, wenn der Quotient im voraus niedrig ist, wie dies bei den beiden hier in Frage stehenden Versuchspersonen der Fall ist. Diese tatsächliche Steigerung ist jedoch kaum je so groß wie in den vorliegenden Fällen; da ferner die alveoläre CO_2-Spannung bei J. L. ein wenig abnimmt und sich bei O. F. nur in geringem Maße steigert, und da die alveoläre Ventilation in beiden Fällen stärker zu sein scheint, als die Stoffwechselsteigerung es erfordert, ist die Annahme die wahrscheinlichste, daß die Empfindlichkeit des Zentrums bei J. L. gesteigert worden ist, wenn auch weniger als bei Ergometerversuchen mit derselben Person und weniger als bei den beiden zuerst besprochenen Versuchspersonen. Für O. F. stellt sich die Sache zweifelhafter; am wahrscheinlichsten ist es jedoch gewiß, daß die Empfindlichkeit des Zentrums auch in diesem Falle gesteigert worden ist, wenn auch nur in geringem Maße.

Betrachten wir die Versuche unmittelbar nach der Arbeit, so werden, was Ventilation und Quotienten betrifft, die beiden bei den Arbeitsversuchen voneinander getrennten Gruppen in eine Gruppe

zusammenfließen, da die beiden erwähnten Funktionen in der ersten Gruppe nur eine geringe Steigerung aufweisen, während sie in der anderen Gruppe sehr stark zunehmen. Die Stoffwechselzunahme ist in allen Fällen eine bedeutende, wie auch die alveoläre CO_2-Spannung bei allen steigt; bei O. F. ist jedoch die Steigerung eine mäßige, und bei J. L. ist sie so klein, 0·2%, daß sie wahrscheinlich innerhalb der Fehlergrenzen der Versuche liegt. In den beiden untersuchten Fällen findet man in dieser Versuchsreihe, wie aus Tabelle VIII erhellt, eine Verminderung der reduzierten Wasserstoffzahl des Blutes, bzw. 6 und 4 Volumenprozent Kohlensäure entsprechend.

Übersicht über die Schwankungen des Quotienten (vgl. Fig. 5).

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später
E. H. I	0.99	1.22	1.36	
E. H. II	0.93	1.24	1.39	1.72
O. F.	0.77	0.90	1.28	1.42
J. L.	0.76	0.97	1.49	1.49
M. K.	(0.84	1.24	1.28)	

Bei E. H. finden wir nun in beiden Versuchsreihen eine unveränderte oder nur wenig vermehrte Alveolarventilation, eine starke Stoffwechselzunahme und eine starke Steigerung der alveolären CO_2-Spannung. Dies deutet auf eine bedeutende Herabsetzung der Empfindlichkeit des Respirationszentrums, die in der Übergangsperiode eine Herabsetzung auch des respiratorischen Quotienten bewirken müßte. Da indessen der Quotient, obschon im voraus stark vermehrt, in dieser Periode noch mehr zunimmt, muß dies auf dem in Tabelle VIII nachgewiesenen Auftreten von fixen Säuren im Blute beruhen. Bei M. K. trifft die nämliche Betrachtung zu. In diesem Falle wurde die Reaktion des Blutes nicht untersucht; das Resultat eines solchen Versuchs läßt sich aber mit Sicherheit voraussagen. Bei O. F. findet sich die gewöhnliche Stoffwechselzunahme in Verbindung mit einer Vermehrung sowohl der Alveolarventilation als der alveolären CO_2-Spannung. Etwas Entscheidendes über den Zustand des Zentrums bei dieser Versuchsperson läßt sich nicht sagen. Aber die Zunahme der alveolären CO_2-Spannung, in Verbindung mit der Ventilationsvermehrung, deutet mit Sicherheit darauf, daß eine eventuelle Empfindlichkeitsveränderung nur eine geringe sein kann, und daß also die bedeutende Zunahme des respiratorischen Quotienten, praktisch gesprochen, ausschließlich auf Milchsäure im Blute beruhen muß.

Bei J. L. zeigt die stark vermehrte Alveolarventilation und die sehr geringe Zunahme der alveolären CO_2-Spannung, daß der außerordentlich hohe Quotient nicht allein von der nachgewiesenen Veränderung der Blutreaktion herrührt, sondern zugleich von einer gesteigerten Empfindlichkeit des Respirationszentrums herrühren muß.

Fortgesetzte Versuche mit E. H. und J. L. stimmen so gut überein, daß man den weiteren Verlauf der Kurven mit recht großer Bestimmtheit skizzieren kann. Es zeigt sich nun, daß man, während der Stoffwechsel, die alveoläre Ventilation und die alveoläre CO_2-Spannung in den folgenden Versuchsperioden abnehmen, eine fortgesetzte Zunahme des respiratorischen Quotienten stattfindet. Das Maximum des Stoffwechsels und der Ventilation fällt ungefähr 1·5 Minute früher als das des Quotienten. Was den Stoffwechsel betrifft, laufen die beiden Kurven nebeneinander her, aber während bei E. H. die Ventilation fast unverändert bleibt, die CO_2-Spannung abnimmt und der Quotient stark zunimmt, nimmt bei J. L. die Ventilation stark ab, während die alveoläre CO_2 Spannung nur wenig abnimmt und der Quotient unverändert hoch bleibt. Aller Wahrscheinlichkeit nach bedeutet dies, daß das Respirationszentrum bei E. H. wieder empfindlicher wird, während die Abnahme der alveolären CO_2-Spannung bei J. L. und der hohe Quotient annehmbar ausschließlich das Anzeichen eines Auftretens von Milchsäure im Blute sind. In der letzten der hier angeführten Versuchsperioden scheinen alle untersuchten Funktionen sich auf dem Rückweg zu ihrem gewöhnlichen Niveau zu befinden; der Quotient beträgt aber noch bedeutend über 1, und da er bei J. L. bis auf ungefähr 0·76 zurücklaufen und möglicherweise eine subnormale Periode durchmachen soll, indem die alveoläre CO_2-Spannung bei J. L. in dieser letzten Periode noch ungefähr $^1/_2$% niedriger ist als gewöhnlich, läßt sich mit Sicherheit behaupten, daß die Nachwirkungen der ganz kleinen statischen Arbeit sich wenigstens 10 bis 15 Minuten nach Aufhören der Arbeit nachgewiesen werden können.

Kehren wir zu dem Ausgangspunkt dieser Untersuchungen des respiratorischen Quotienten zurück. Es hat sich also gezeigt, daß der respiratorische Quotient in Verbindung mit der Blutuntersuchung verbürgt, daß unmittelbar nach einer statischen Arbeit fixe Säuren im Blute auftreten, was wiederum die früher ausgesprochene Hypothese vom Kreislauf in den statisch kontrahierten Muskeln unterstützt. Da man indessen außer mit den fixen Säuren im Blute zugleich mit den Variationen der Empfindlichkeit des Respirationszentrums rechnen

muß, läßt eine quantitative Analyse der Versuchsresultate sich nicht durchführen.

Auch nach Arbeit am Ergometer und anderen gewöhnlichen Arbeitsformen hat man eine Zunahme des respiratorischen Quotienten gefunden, die ungefähr $1^1/_2$ Minute nach Aufhören der Arbeit kulminiert (17), und das Verhalten der übrigen respiratorischen Funktionen hat es wahrscheinlich gemacht, daß der hohe Quotient von fixen Säuren im Blute herrührt, wie auch Bestimmungen der reduzierten Wasserstoffzahl des Blutes eine Verminderung von p_H offenbart haben, die weit größer ist als diejenigen, die in diesen Versuchen nachgewiesen wurden (18). Dies braucht aber unsere Auffassung der statischen Arbeit nicht zu verändern. Wenn bei angestrengter Arbeit am Ergometer die Sauerstoffversorgung der Muskeln eine mangelhafte wird, muß sich in den arbeitenden Muskeln Milchsäure bilden, und diese muß wiederum, insofern sie nicht beim Oxydationsprozeß verschwindet, ins Blut hinübergehen. Indessen ist es nicht die Milchsäureproduktion, sondern die Milchsäureanhäufung, die die statische Muskelarbeit charakterisiert. Wenn die Milchsäuremenge, von welcher der geringe ins Blut übergehende Teil dessen reduzierte Wasserstoffzahl von 7·28 auf 7·22 herabsetzt, in den Beugemuskeln der Finger und des Ellbogens angehäuft wird, kann man sicher davon ausgehen, daß die Milchsäurekonzentration in dieser kleinen, arbeitenden Muskelgruppe eine sehr hohe sein muß, so hoch, daß es, indem wir auf Fletcher und Hopkins Untersuchung über die anaerobe Muskelarbeit verweisen, als berechtigt betrachtet werden muß, anzunehmen, daß die Anhäufung von Milchsäure in den Muskeln als die Ursache der schnell eintretenden starken Ermüdung bei statischer Muskelarbeit betrachtet werden muß.

Resümee.

Die Hauptresultate der Untersuchungen über die statische Muskelarbeit sind,

daß die Sauerstoffaufnahme während der Arbeit auffallend wenig zunimmt, während unmittelbar nach Beendigung der Arbeit eine bedeutende Stoffwechselsteigerung vorliegt. In einem Falle, wo die Arbeit 0·9 Min. dauerte, und wo die gesamte Stoffwechselsteigerung wegen dieser Arbeit mindestens 1123 ccm O_2 betrug, fielen nur 168 ccm auf die Arbeitsperiode selbst, während 955 ccm auf die ersten 6 Minuten nach Aufhören der Arbeit fielen. Ferner

daß die Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes in der Arbeitsperiode unter den Ruhewert hinabsinkt, indem das Minutenvolumen stärker vergrößert wird, als die Stoffwechselsteigerung es erfordert, während die Ausnutzung unmittelbar nach der Arbeit mehr oder minder stark zunimmt, je nachdem das Minutenvolumen abnimmt oder zunimmt, und schließlich

daß die reduzierte Wasserstoffzahl des Blutes unmittelbar nach Aufhören der Arbeit in der Weise fällt, daß das Kohlensäurebindungsvermögen des Blutes um 4 bis 6 Volumenprozent vermindert wird, was in Anbetracht der geringen Größe der arbeitenden Muskelgruppe und da bei weitem der größte Teil der in den Muskeln gebildeten Milchsäure annehmbar verschwindet, wenn Sauerstoff hinzugeführt wird, darauf deutet, daß die Milchsäurekonzentration in den arbeitenden Muskeln gegen Ende der Arbeit eine sehr hohe gewesen sein muß.

Auf Grund dieser Versuchsresultate ist anzunehmen,

daß die statisch kontrahierten Muskeln dem Blutstrom ein mechanisches Hindernis entgegensetzen,

daß die statische Muskelarbeit daher in großer Ausdehnung anaerob ist, und

daß die bei statischer Muskelarbeit schnell auftretende starke Ermüdung von einer Anhäufung von Milchsäure in den arbeitenden Muskeln herrührt.

Die Versuche bestätigen ferner die Auffassung, daß der respiratorische Quotient nur bei — auch in psychischer Beziehung — ganz ruhigen und stabilen Verhältnissen ein Ausdruck der Summe der im Organismus stattfindenden Aufbau- und Abbauprozesse ist. Während verhältnismäßig kurzwieriger Muskelarbeit, gleichgültig in welcher Form, in allen Übergangsperioden von Ruhe auf Arbeit oder umgekehrt, bei Änderungen des psychischen Zustandes des Individuums, usw., welche Übergänge sich über einen verhältnismäßig bedeutenden Zeitraum erstrecken können, wird der Quotient durch die Mechanik der Respiration beherrscht, die wiederum vom Respirationszentrum kontrolliert wird, und man kann daher unter solchen Verhältnissen nicht von Quotientenveränderungen auf Veränderungen der Stoffwechselprozesse schließen, wie auch der respiratorische Quotient unter solchen Umständen nicht zur Bestimmung des kalorischen Wertes des Sauerstoffes benutzt werden kann.

Literaturverzeichnis.

1. A. V. Hill, *The journ. of physiol.* 1913. Bd. XLVI. S. 435.
2. Johansson, *Skand. Arch. f. Physiol.* 1901. Bd. XI. S. 273.
3. Johansson und Koraen, *Ibid.* 1902. Bd. XIII. S. 229.
4. Henriques und Lindhard, Pflügers *Arch.* 1920.
5. Krogh, Abderhaldens *Handb. d. biochem. Arbeitsmethoden.* 1915. S. 529.
6. Lindhard, Pflügers *Arch.* 1915. Bd. CLXI. S. 233.
7. Krogh und Lindhard, *The journ. of physiol.* 1917. Bd. LI. S. 59.
8. Liljestrand, *Skand. Arch. f. Physiol.* 1917. Bd. XXXV. S. 199.
9. Krogh und Liljestrand, *Biochem. Zeitschrift.* 1920.
10. Krogh und Lindhard, *The journ. of physiol.* 1913. Bd. XLVII. S. 30.
11. Lindhard, *The journ. of physiol.* 1914; *Proceedings.* June 6.
12. Krogh und Lindhard, *The journ. of physiol.* 1913. Bd. XLVII. S. 112.
13. Fletcher und Hopkins, *Ibid.* 1907. Bd. XXXV. S. 247.
14. Ryffel, *Ibid.* 1909; *Proceedings.* December 11.
15. Hasselbalch, *Biochem. Zeitschrift.* 1916. Bd. LXXIV. S. 56.
16. Krogh und Lindhard, *Biochem. journ.* 1920.
17. Krogh und Lindhard, *The journ. of physiol.* 1920.
18. Christiansen, Douglas and Haldane, *Ibid.* 1914. Bd. XLVIII. S. 244.

Untersuchungen über statische Muskelarbeit.

Von

J. Lindhard.

(Aus dem turntheoretischen Laboratorium der Universität Kopenhagen.)

II.

Die hier zu besprechenden Versuche wurden in allem Wesentlichen mit derselben Methodik ausgeführt wie die in der ersten Abhandlung behandelten Versuche. In betreff der Versuchstechnik, der Kritik der Methode, und der Korrektionen wird daher auf die genannte Abhandlung verwiesen.

Diese Versuche, die alle mit einer einzelnen Versuchsperson angestellt wurden, aber mehrere verschiedene Stellungen mit ausschließlich oder überwiegend statischer Muskelarbeit umfassen, sollen zuvörderst zeigen, daß die Resultate der früher besprochenen Versuche, die alle in hängenden Stellungen angestellt wurden, nicht von der hängenden Stellung als solcher herrühren können, sondern auf der statischen Muskelarbeit beruhen müssen. Außerdem werden sie aber, wie eine nähere Durchnahme der Versuche zeigen wird, in mehreren Beziehungen die früheren Versuche ergänzen.

In Tabelle I, deren Einrichtung keine nähere Erklärung erfordert, sind Respirationsversuche mit der Versuchsperson E. H. in 6 verschiedenen Stellungen aufgeführt.

Die Versuche beim „Liegen vorlings auf dem Schemel" wurden mit Bohrs Ventil ausgeführt, das an einem Ständer befestigt und in gewöhnlicher Weise mit den Douglas-Säcken verbunden war. Die Verbindung zwischen Ventil und Mundstück wurde durch einen „Harmonikaschlauch" (um der Versuchsperson die notwendige Bewegungsfreiheit zu sichern) hergestellt, welcher Schlauch den „schädlichen Raum" um 200 ccm brutto vergrößerte. Der gesamte, effektive „schädliche Raum" läßt sich somit auf 300 ccm veranschlagen.

In dieser Lage wurde der Körper ungefähr horizontal gehalten, wobei die Femora auf einem Schemel ruhten und die Fersen gegen die Unterkante eines Querbalkens stützten, der in der Höhe des Schemels angebracht war, und wobei die Lende schwach und der Hals etwas stärker gebogen waren, so daß der Mund vorwärts kehrte. Die wirksamen Muskeln sind in dieser Lage die Strecker des Hüftgelenks und die tiefen Rückenmuskeln (Erector trunci). Der Brustkasten ist in dieser Lage einigermaßen frei; die Vitalkapazität ist wie in der stehenden Stellung, wo die Hände den Querbalken anfassen. Bei dem ersten und dem letzten Versuch der Serie ruhte die Versuchsperson mit der Brust auf einem anderen Schemel, der weggenommen wurde, wenn der Arbeitsversuch begann, und wieder angebracht wurde, wenn die Arbeit beendigt war.

Die Versuchsresultate stimmen in allem Wesentlichen mit den Versuchen beim „Beugehang mit Zwiegriff", indem der Unterschied fast ausschließlich auf den Quotienten fällt, der beim „Liegen vorlings auf dem Schemel" außerordentlich hoch ist, um unmittelbar nach der Arbeit fast bis auf den Ausgangswert hinabzusinken. Gleichfalls fällt in dieser letzten Periode die alveoläre Ventilation. — Es wurde in dieser Lage ein einzelner Kreislaufversuch angestellt während und unmittelbar nach Arbeit (siehe Tabelle II), welcher Versuch ganz demjenigen bei „Beugehang mit Zwiegriff" entspricht. Man findet eine Abnahme der Ausnutzung des Blutsauerstoffes während der Arbeit und eine starke Ausnutzung nach der Arbeit, während das Minutenvolumen unverändert ist.

Bereits die auffällige Übereinstimmung zwischen diesen Versuchen und den Versuchen in der hängenden Stellung, also zwei Stellungen, deren einziger gemeinsamer Zug in der statischen Muskelarbeit besteht, deutet bestimmt darauf, daß eben diese die Resultate der Versuche prägt. Die folgenden Reihen bestätigen dies noch mehr.

Beim „freien Liegestütz vorlings" ruht der ausgestreckte Körper auf Händen und Füßen. Die wirksamen Muskeln sind die Kniestrecker, die Hüftgelenkbeuger, die Bauchmuskeln, die Ellbogenstrecker, die Extensoren des Schultergelenks sowie gewisse Schulter- und Halsmuskeln. Die stärkste Arbeit fällt auf Ellbogenstrecker und Bauchmuskeln, aber im ganzen genommen ist die Lage eine leichte, indem das Gewicht des Körpers auf viele große Muskelgruppen verteilt ist, und diese Lage kann deshalb lange Zeit hindurch gehalten werden. Über die Resultate der Versuche verweisen wir auf die

Tabelle I.

E. H. Respirationsversuch. „Liegen vorlings auf dem Schemel“ (Frambågliggande).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Ltr./Min. (Zimmertemp.)	Ventilation red. Ltr./Min. 0°, 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min. CO_2	Stoffwechsel ccm pro Min. O_2	$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
Ruhe. Die Brust auf einem Schemel ruhend	7./5.	2.15	22	24.6	10.5	1212	8.37	10.6	349	342	1.02	
	8./5.	2.35	25	25.6	10.8	1111	7.70	10.1	338	364	0.93	
	9./5.	2.13	21	23.0	9.85	1210	7.91	10.0	344	359	0.96	
	Mittel				10.4	1177	8.00		344	355	0.97	
Arbeit	5./5.	1.34	18	40.2	13.8	2415	26.0	27.8	931	581	1.60	
	7./5.	1.54	17	33.3	11.4	2110	18.3	20.1	705	568	1.24	
	8./5.	1.64	20	42.9	12.5	2316	22.5	24.3	838	628	1.335	
	9./5.	1.405	17	34.8	12.5	2196	21.1	22.9	783	610	1.28	
	Mittel				12.55	2259	22.0		814	597	1.365	
	Mittel korr.								802	566	1.43	
Unmittelbar nach Arbeit	5./5.	2.00	26	39.2	13.2	1645	15.7	18.2	726	650	1.12	
	7./5.	1.055	11	19.9	10.4	2006	15.7	17.5	843	785	1.07	
	8./5.	1.40	16	31.6	11.8	2120	19.1	21.0	955	838	1.14	
	9./5.	0.927	9	18.2	9.7	2234	16.7	18.2	838	842	1.00	
	Mittel				11.3	2001	16.8		840	779	1.08	
	Mittel korr.								880	821	1.075	

E. H. Respirationsversuch. „Freier Liegestütz vorlings“ (Stupfalliggande).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Auf dem Fußboden liegend	13./5.	2.43	23	18.4	9.5	894	5.83	7.00	320	366	0.88	
	14./5.	2.41	22	21.5	9.1	1100	7.28	8.40	379	397	0.95	
	17./5.	2.71	22	18.3	8.1	938	5.29	6.31	286	334	0.86	

	14./5.	[illegible]		[illegible]				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
I	15./5.	0.975	10	10.6	10.3	1201	9.03	10.2	475	528	0.90
II	15./5.	1.25	10	16.0	8.0	1813	11.4	12.05	568	577	0.985
I + II	15./5.	2.225	20	26.6	9.0	1507	10.3	11.25	528	556	0.95
II	17./5.	1.20		17.2				13.3	571	554	1.03
	Mittel				9.7	1733	12.4		598	585	1.02
	Mittel korr.								589	562	1.05
Unmittelbar nach Arbeit	13./5.	1.07	10	12.7	9.35	1412	10.2	11.0	550	639	0.86
	14./5.	1.34		13.7				9.63	467	529	0.88
	15./5.	1.43	13	16.2	9.1	1412	9.69	10.65	508	545	0.93
	17./5.	0.91	7	10.0	7.7	1610	9.60	10.3	466	522	0.89
	Mittel				8.7	1478	9.83		498	559	0.89
	Mittel korr.								508	595	0.86

E. H. Respirationsversuch. „Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz" (Fallsittande).

Ruhe. Der Rücken unterstützt	12./5.	2.125		18.0				7.85	348	355	0.98
	13./5.	3.00	28	21.8	9.3	871	5.59	6.75	296	338	0.88
	14./5.	2.98	28	21.2	9.4	852	5.42	6.70	284	323	0.88
	Mittel				9.3	861	5.50		309	339	0.91
Arbeit	12./5.	1.67	(24)	29.2	(14.4	1361	14.9)	16.25	614	519	1.18
	13./5.	1.65	19	24.3	11.5	1430	12.7	13.7	565	539	1.05
	14./5.	1.70	18	26.5	10.6	1657	13.7	14.7	587	569	1.03
	Mittel				11.0	1543	13.2		589	542	1.09
	Mittel korr.								563	508	1.11
Unmittelbar nach Arbeit	12./5.	1.23		16.6				12.5	584	596	0.98
	13./5.	1.475	13	17.4	8.8	1497	10.2	10.95	525	551	0.95
	14./5.	1.18	13	16.3	11.0	1412	11.9	13.0	618	648	0.95
	Mittel				9.9	1454	11.0		576	598	0.96
	Mittel korr.								601	634	0.945

Tabelle I (Fortsetzung).

E. H. Respirationsversuch. „Rückenlage mit erhobenen Beinen“ (Rygspjärnliggande).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Dauer Min.	Anzahl Resp.	Ventilation dir., Liter	Frequenz	Tiefe ccm 37°	Alv. Ventilation Ltr./Min. (Zimmertemp.)	Ventilation red. Ltr./Min. 0°, 760 mm	Stoffwechsel ccm pro Min.		$\frac{CO_2}{O_2}$	Bemerkungen
									CO_2	O_2		
Liegend	15./5. 19./5.	2.54 3.07	27	18.2 18.6	10.8	750	5.22	6.74 5.70	284 261	312 277	0.91 0.94	
	Mittel								272	295	0.925	
Arbeit	15./5. 19./5.	1.49 1.63	15	21.3 19.2	10.1	1609	12.5	13.45 11.1	538 477	448 457	1.20 1.04	
	Mittel Mittel korr.								508 482	452 410	1.12 1.18	
Unmittelbar nach Arbeit	15./5. 19./5.	1.35 1.03	11	13.7 10.3	8.15	1411	8.68	9.53 9.41	452 488	440 474	1.03 1.03	
	Mittel Mittel korr.								470 502	457 495	1.03 1.02	

E. H. Respirationsversuch „Hockstellung mit Fersen erhoben“ (Tånigstående).

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Stehend	19./5. 20./5.	2.16 1.82	14	16.5 13.1	8.0	1021	5.77	7.20 6.77	287 288	313 314	0.92 0.92	
	Mittel								288	314	0.92	
Arbeit	19./5. 20./5.	1.43 1.12	11	21.8 19.5	10.3	1917	15.6	14.35 16.4	664 746	719 765	0.92 0.97	
									[illegible]	[illegible]	[illegible]	Keine Korr.

	20./5.	0.80	7	12.6	8.75	2035	14.2	14.75	833	786	1.06
(Mittel									874	796	1.10)
(Mittel korr.									912	807	1.13)

E. H. Respirationsversuch „Handstand mit Unterstützung der Füße" (Valvstupstående).

Arbeit	30./9.	0.74		25.0				31.9	1099	1144	0.96
	1./10.	0.75		17.4				21.7	748	807	0.93
	2./10.	0.95	17	28.6	17.9	1913	25.8	27.95	956	898	1.065
	Mittel								934	950	0.985
	Mittel korr.[3]								899	906	0.99
Unmittelbar nach Arbeit (Sitzend)	30./9.	1.44	21	34.9	14.6	1888	19.9	22.9	924	801	1.155
	1./10.	1.115	(15)	23.5	(13.4	1804	17.0)	19.75	750	681	1.10
	2./10.	1.12	15	23.6	13.4	1788	17.0	19.55	834	785	1.06
	Mittel				14.0	1838	18.5		836	756	1.105
	Mittel korr.								858	765	1.12
Unmittelbar nach dem vorhergehenden Versuch	30./9.	1.16	18	27.5	15.5	1735	19.0	22.4	739	508	1.455
	1./10.	1.185	15	22.8	12.7	1750	15.4	18.0	604	473	1.28
	Mittel				14.1	1742	17.2		671	490	1.37
	Mittel korr.								647	452	1.43
Anfang 3.46 Minuten nach Beendigung der Arbeit	2./10.	1.17	15	18.9	12.8	14.33	12.4	15.0	471	400	1.18

[1] Das Signal versagte. Mit der Hand markiert. Die Unsicherheit kaum bedeutend.

[2] Sehr angestrengt vom Versuche. Die Ventilation gegen Ende der Arbeit stark forciert.

[3] Die Alveolarspannung in der stehenden Stellung als Ausgangspunkt genommen.

Tabelle; hier wollen wir nur ein einzelnes Verhältnis näher besprechen.

Da der „freie Liegestütz vorlings“ diejenige von den untersuchten Stellungen bezeichnet, in der die Muskeln am wenigsten gespannt sind, und die daher am längsten gehalten werden kann, lag es nahe, eine Teilung des Arbeitsversuches in 2 Perioden zu versuchen, um dadurch über den Anstieg der Sauerstoffkurve während der Arbeit Aufschluß zu erhalten. Es ließ sich a priori die Möglichkeit nicht ausschließen, daß ein fortgesetzter, steiler Anstieg derselben vorlag, so daß die Sauerstoffaufnahme während des letzten Teils der Arbeitsperiode größer wurde als unmittelbar nach derselben. Wenn dem so war, mußte dies sich eben in einer Stellung wie dem „freien Liegestütz vorlings“ zeigen, wo die weniger hartgespannten Muskeln annehmbar dem Blutstrom einen geringeren Widerstand entgegensetzten mußten. Die Versuche zeigen indessen (siehe namentlich Versuch 15./5.), daß der Unterschied zwischen der Sauerstoffaufnahme in der ersten und der letzten Arbeitsperiode nur gering ist (unter 10%), was wieder die in der vorigen Abhandlung mitgeteilte Theorie über das Verhalten des Kreislaufes während statischer Muskelarbeit bestätigt.

Es soll nur noch bemerkt werden, daß die Versuche nach Arbeit (wie die einleitenden Versuche) in liegender Stellung angestellt wurden.

Die dritte der untersuchten Stellungen ist das „Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz“. Die Versuchsperson saß auf einem Schemel mit den Füßen unter dem Querbalken. Der Körper war um etwa 45° rücklings gefällt. Vor und nach dem Arbeitsversuche wurde der Rücken von einem Assistenten unterstützt. Die wirksamen Muskeln sind: Kniestrecker, Hüftgelenkbeuger, Bauchmuskeln sowie gewisse Halsmuskeln.

Den 3 bisher besprochenen Stellungen gemeinsam ist der Umstand, daß die einleitende und abschließende Stellung keine „natürliche“ Stellung ist, sondern gewählt wurde, um den Übergang zur Arbeit so schnell und leicht zu machen wie möglich. Die einleitende Stellung ist nicht besonders bequem, was sich dadurch zu erkennen gibt, daß der Stoffwechsel in dieser Stellung höher ist als in einer gewöhnlichen sitzenden oder liegenden. Nach der Arbeit bedeutet dies sicher weniger; jede neue Stellung wird zu diesem Zeitpunkt als Ruhe aufgefaßt werden.

Bei der „Rückenlage mit erhobenen Beinen“ liegt der Körper auf dem Rücken ausgestreckt, wobei die Unterextremitäten etwa 30° gehoben werden. In dieser Lage wirken dieselben Muskeln wie beim

„Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz“, aber die Arbeit ist eine geringere, namentlich was die Hüftgelenkbeuger betrifft, indem diese in der „Rückenlage“ nur das Moment der Unterextremitäten in betreff der Hüftlinie zu kompensieren haben, während sie beim „Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz“ gegen Kopf, Rumpf und Oberextremitäten in betreff derselben Achse das Gleichgewicht zu halten haben. Die Ausgangsstellung ist Rückenlage mit den Fersen auf einem Schemel von angemessener Höhe.

In der „Hockstellung (oder Kniebeugen) mit Fersen erhoben“ ist der Brustkasten vollständig frei. Die wirksamen Muskeln sind Triceps surae und Quadriceps extensor cruris, dazu kommen noch gewisse Hüftgelenkmuskeln sowie die Muskeln, die gewöhnlich bei senkrechtem Oberkörper wirksam sind. Die Ausgangsstellung ist die stehende. Die Hockstellung ist für Geübte recht stabil und erfordert nur eine geringe korrektive Arbeit.

Die zuletzt zu erwähnende Stellung, der „Handstand mit Unterstützung der Füße“, ist etwas für sich, indem die Arbeit in dieser Stellung keine rein statische ist. Die Handflächen der Versuchsperson ruhten auf dem Fußboden, und die Füße stützten leicht gegen eine Sprossenwand. Die Ausgangstellung war die stehende. Auf ein gegebenes Signal setzte die Versuchsperson, die Hüftgelenke beugend, die Hände auf den Fußboden und schwang in demselben Moment die Unterextremitäten gegen die Sprossenwand empor. Der Respirationsversuch begann erst, wenn die Versuchsperson ein verhältnismäßig sicheres Gleichgewicht in der bleibenden Stellung erreicht hatte. Die Versuche unmittelbar nach der Arbeit und später wurden in der sitzenden Stellung angestellt. Indem die Versuchsperson bei Beendigung des Arbeitsversuches die Unterextremitäten auf den Fußboden stützte und den Körper emporrichtete, wurde ihr ein Stuhl untergestellt, so daß sie, ohne daß die Bewegung aufhörte, in die sitzende Stellung hinüberglitt. Damit diese verschiedenen Bewegungen so ungeniert wie möglich vonstatten gehen sollten, mußte zwischen Mundstück und Ventil ein Schlauch eingeschaltet werden, wodurch der „schädliche Raum“ um 200 ccm vergrößert wurde. Der gesamte effektive „schädliche Raum“ wurde somit auf 300 ccm geschätzt.

Diese Stellung kann nicht ohne fortwährende korrektive Muskelarbeit gehalten werden. Bald muß die eine, bald muß die andere Muskelgruppe in Tätigkeit treten, da das Gleichgewicht bedroht wird. Und diese Gleichgewichtsarbeit wird in 2 Weisen wirken, teils wird sie im

Tabelle II.

E. H. Kreislaufversuch.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Versuchsbedingungen	1919 Datum	Min.-Vol. dir., Liter	O_2-Aufnahme im Vers.	O_2 pro Liter Blut	O_2 pro Minute Resp.-Vers.	Min.-Vol. red., Liter	Puls	Schlag-vol. ccm	Bemerkungen
Liegen vorlings auf dem Schemel	10./6.	13.6	694	51	566	11.1			
Nach do.	10./6.	18.0	1290	71.5	821	11.5			
Handstand mit Unterstützung der Füße	3./10.	11.35	568	50	906	18.1			
	20./10.	14.4	779	54		16.7			Korr. für ungenügende Exspir. (Hier nicht zur Residualluft exspiriert.)
	21./10.	14.6	725	50		18.2			
	21./10.	15.9	832	52.5		17.3			
	22./10.	13.6	762	56		16.2			
	Mittel			52.5	906	17.3			
Unmittelbar nach Arbeit (sitzend)	3./10.	10.9	770	71	765	10.8	76.5	141	Der Puls unmittelbar nach den Arbeitsversuchen gezählt: 76—90—68—72
	21./10.	14.4	785	54.5		14.0		183	
	22./10.	13.95	803	57.5		13.3		174	
	22./10.	13.7	818	59.5		12.8		167	
	Mittel			60.5	765	12.7		166	

allgemeinen eine Vermehrung der Sauerstoffaufnahme veranlassen, und teils wird sie bewirken, daß die Sauerstoffkurve weniger ausgesprochen „statisch" wird. Diese beiden Momente treten sehr deutlich hervor in dem ersten der angeführten Versuche, wo die ungewohnte Situation eine besondere Sorgfalt von seiten der Versuchsperson und eine größere korrektive Arbeit erfordert als in den späteren Versuchen; aber auch in diesen ist die Wirkung der Gleichgewichtsarbeit nicht zu verkennen, wenn man sie mit den Versuchen in den hängenden Stellungen vergleicht.

Es wurden in dieser Versuchsreihe Versuche angestellt, die es möglich machen, sich einen recht zuverlässigen Begriff von der gesamten Stoffwechselsteigerung zu bilden. Sie beträgt in den ersten 6 Minuten nach der Arbeit 990 ccm, während der Arbeit 480 ccm, im ganzen also 1470 ccm O_2. Das Verhältnis zwischen dem Teil der Steigerung, der auf die Arbeitsperiode selbst fällt, und der späteren Steigerung ist also beim „Handstand" 48/99 = 0·485, während dasselbe Verhältnis beim „Beugehang mit Zwiegriff" 189/836 = 0·226 beträgt.

Der Brustkorb ist beim „Handstand mit Unterstützung der Füße" recht stark fixiert, indem die wesentliche Arbeit auf die Arm- und Schultermuskeln fällt. Die Vitalkapazität beträgt (im Durchschnitt von 5 Messungen) 3·86 l gegen 5·15 l in der stehenden Stellung; die Residualluft (im Durchschnitt von 6 Bestimmungen) 1389 ccm gegen 1130 in stehender Stellung. Diese Verhältnisse erforderten eine sehr große Sorgfalt in betreff der Kreislaufversuche. Es gelang indessen, eine Serie davon zu erhalten; sie ist in Tabelle II angeführt.

Wie man sieht, bilden die 5 Arbeitsversuche in betreff der Ausnutzung des Sauerstoffes des Blutes eine überaus gleichmäßige Reihe. Die Ausnutzung ist etwas höher als in der hängenden Stellung, wie ja auch die Arbeit beim „Handstand" keine rein statische ist. Außerdem wird man bemerken, daß das auf den Stoffwechsel reduzierte Minutenvolumen höher ist als die direkt bestimmte Zahl. Dies beruht gewiß zuvörderst darauf, daß der Stoffwechsel in den Respirationsversuchen verhältnismäßig hoch ist, da sie vor den Kreislaufversuchen angestellt wurden, so daß in diesen möglicherweise einige Wirkung der Übung zu spüren ist (der erste Respirationsversuch ist in dieser Beziehung charakteristisch); sodann kommt aber sicherlich auch der Umstand in Betracht, daß die letzte Exspiration in diesen Versuchen nicht dasselbe Niveau erreicht wie die erste. Wo dies bestimmt aus den Kurven hervorgeht, läßt sich für den Fehler korrigieren. Dies

braucht aber keineswegs immer der Fall zu sein. Wie früher erwähnt, wird aber weder die Ausnutzung noch das reduzierte Minutenvolumen hiervon berührt, und wenn der Stoffwechsel, auf den reduziert worden ist, auch größer sein sollte als derjenige, der dem Zeitpunkt der Kreislaufversuche entspricht, so ist nicht zu bezweifeln, daß das Minutenvolumen beim „Handstand" stark vermehrt worden ist. Dies beruht mutmaßlich auf den statischen Verhältnissen, indem die Venen der Unterextremitäten und eines Teiles des Körpers entleert werden, während eine sichtbare und fühlbare Blutüberfüllung der Kopf- und Halsvenen stattfindet. Man darf sicherlich davon ausgehen, daß unter diesen Umständen eine starke Füllung der Cisterna venosa vorliegt, die das vermehrte Minutenvolumen ergeben hat.

Die Versuche nach Arbeit sind sehr variabel, geben aber noch dasselbe Resultat wie die Versuche in der hängenden Stellung, indem die Ausnutzung vergrößert worden ist, während das Minutenvolumen abnimmt.

Der Puls wurde nach den Arbeitsversuchen gezählt. Da es bei dieser Versuchsperson immer schwer ist, das Zählen in demselben Augenblick, wo die neue Stellung eingenommen wurde, anzufangen, ist es wahrscheinlich, daß die angeführten Pulszahlen ein wenig zu niedrig sind. Es ist doch in überwiegendem Maße wahrscheinlich, daß das Schlagvolumen unmittelbar nach der Arbeit ungefähr maximal ist.

Betrachtet man diese Versuchsreihen insgesamt, so sieht man leicht, daß sie nicht nur in der Hauptsache, sondern auch in den meisten Einzelheiten dieselben Resultate ergeben wie die Versuche in den hängenden Stellungen.

In den hier besprochenen Versuchen kann mit einer einzelnen Ausnahme die gesamte Stoffwechselsteigerung nicht mit Sicherheit berechnet werden; die Übersichtstabelle der früheren Abhandlung zeigt aber, daß man einen annäherungsweisen Ausdruck davon erhalten kann, wenn man den Stoffwechsel pro Minute während und nach der Arbeit addiert. Der Fehler wird, soweit sich erachten läßt, kaum je bis auf 20% ansteigen, und in der folgenden Übersicht, in der die Versuche nach der Größe der in der angedeuteten Weise berechneten Arbeit geordnet sind, wird die Reihenfolge der Hauptsache nach richtig sein. In dieser und in den folgenden Übersichten sind die beiden früher

besprochenen Versuchsreihen mit E. H. mitherangezogen; wir verfügen also im ganzen über 8 Versuchsreihen mit derselben Versuchsperson.

	O_2 pro Min. ccm		Gesamte Stoffwechselsteigerung ccm	Dauer der Arbeit	Stoffwechselsteigerung pro Minute	
	während Arbeit	nach Arbeit			ccm O_2	Cal.
Handstand	906	765	1671	0.85	1970	9.80
Beugehang mit Zwiegriff	557	853	1410	0.80	1760	8.89
Beugehang mit Kammgriff	524	707	1231	0.90	1370	6.83
Hockstellung	742	807	1549	1.28	1210	6.02
Liegen vorlings	566	821	1387	1.48	940	4.73
Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz	508	634	1142	1.67	685	3.41
Rückenlage mit erhobenen Beinen	410	495	905	1.56	580	2.89
Freier Liegestütz vorlings	562	595	1157	2.01	575	2.87

Vergleicht man die Stoffwechselsteigerung mit der Dauer der Arbeit, so wird man sehen, daß die Reihenfolge der beiden Kolumnen eine recht verschiedene ist. Die Dauer der Arbeit ist nicht maximal, nähert sich aber dem Maximum um so mehr, je kürzer die Arbeitsdauer ist. Diese Kolumne bietet also eine Skala der Anstrengung dar. Wenn man darauf unter der Voraussetzung, daß die ganze Stoffwechselsteigerung auf die Arbeitsperiode fällt, die Stoffwechselsteigerung durch die Dauer der Arbeit dividiert, so hat man in der Stoffwechselsteigerung pro Minute eine Maßgabe für die Intensität der Arbeit, ausgedrückt durch den Sauerstoffverbrauch. Diese Zahlen können dann wieder, wie in der letzten Kolumne geschehen, mittels der bekannten Skala von Zuntz in Kalorien umgerechnet werden. Bei dieser Berechnung wurde von dem im Ruheversuch gefundenen respiratorischen Quotienten ausgegangen.

Trotz allen Unvollkommenheiten zeigt die Reihenfolge der Versuche, daß die senkrechten Stellungen, in denen der Körper nur an einem einzelnen Punkt unterstützt wird (man kann von der Stütze der Füße beim „Handstand" absehen, da sie nur zur Sicherung des Gleichgewichtes dient), einen großen Energieverbrauch erfordern, während die mehr oder minder horizontalen Lagen, in denen der Körper an mehreren Punkten unterstützt wird, an die Ökonomie des Organismus weit geringere Ansprüche stellen.

Die folgende Tabelle enthält die Zusammensetzung der Alveolarluft, nach der Bohr-Zuntzschen Formel berechnet:

	Ruhe		Arbeit		Unmittelbar nach Arbeit		Später	
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2
Beugehang mit Zwiegriff . . .	4.67	16.25	3.81	17.50	5.59	16.50		
Beugehang mit Kammgriff. . .	4.94	15.81	4.10	17.35	5.69	16.54	5.09	17.60
Liegen vorlings auf dem Schemel	4.54	16.25	4.02	17.55	5.37	16.05		
Freier Liegestütz vorlings . . .	5.62	14.70	5.12	16.05	5.51	14.85		
Rumpfsenken rückwärts a. d. Sitz	5.60	15.02	4.57	16.70	5.47	15.40		
Rückenlage mit erhobenen Beinen	5.85	14.70	4.72	16.60	5.76	15.35		
Hockstellung	5.08	15.60	5.13	15.60	6.10	15.30		
Handstand			4.15	16.80	4.90	16.45	4.08	17.74

Es geht aus der Tabelle hervor, daß die alveoläre CO_2-Spannung sich wie in den hängenden Stellungen verhält, indem sie während der Arbeit abnimmt und unmittelbar nach derselben stark zunimmt, um später wieder abzunehmen. Nur in der „Hockstellung" findet man während der Arbeit die alveoläre Kohlensäurespannung unverändert.

Was den respiratorischen Quotienten betrifft, sind die Verhältnisse, wie die letzte Tabelle zeigt, schwer zu überschauen. Die Schwankungen scheinen indessen bestimmte Gesetze zu befolgen, indem die Bewegung des Quotienten, die sich in den Durchschnittszahlen zu erkennen gibt, kein zufälliges Resultat ist, das dadurch entstanden ist, daß der Durchschnitt aus wenig Versuchen berechnet worden ist. Man findet im Versuchsprotokoll in jedem einzelnen Versuch in einer Reihe ganz dieselben Schwankungen wie im Durchschnitt, wenn die absolute Größe der respektiven Zunahmen und Abnahmen auch etwas verschieden sein kann.

	Ruhe	Arbeit	Unmittelbar nach Arbeit	Später
Beugehang mit Zwiegriff	0.99	1.22	1.36	
Beugehang mit Kammgriff	0.93	1.24	1.39	1.72
Liegen vorlings auf dem Schemel . . .	0.97	1.43	1.075	
Freier Liegestütz vorlings	0.90	1.05	0.86	
Rumpfsenken rückwärts aus dem Sitz .	0.91	1.11	0.945	
Rückenlage mit erhobenen Beinen . .	0.925	1.18	1.02	
Hockstellung	0.92	0.945	1.13	
Handstand		0.99	1.12	1.43

Man findet also in der Regel während der Arbeit Quotienten von 1 oder darüber, nur in der „Hockstellung" ist die Quotientenzunahme während der Arbeit sehr gering, was vielleicht damit in Verbindung

stehen kann, daß der Brustkorb in dieser Stellung vollkommen frei ist (nur die Schenkelmuskeln arbeiten), während er in allen übrigen Stellungen mehr oder minder fixiert ist. Der „Handstand“ scheint eine Ausnahme zu bilden, indem der Quotient in dieser Stellung nur 0·99 beträgt, obgleich die Bewegungen des Brustkorbes, wie mehrmals erwähnt, sehr stark gehemmt sind; aber andererseits nimmt diese Stellung wegen ihres instabilen Charakters und der daraus folgenden Vermischung von verschiedenen Arbeitsformen eine Sonderstellung ein, deren Konsequenzen nicht zu überschauen sind. — Nach Arbeit verhält sich der Quotient verschieden, indem er in 4 Versuchsreihen abnimmt, in den anderen 4 unmittelbar nach der Arbeit zunimmt; in zwei von letzteren Versuchsreihen, wo spätere Versuche vorliegen, findet man in diesen eine weitere Zunahme des Quotienten in den folgenden Minuten. Der Grund dazu läßt sich nicht mit Sicherheit angeben; es liegt aber nahe, diesen Unterschied mit einem verschiedenen Respirationstypus während des Arbeitsversuches in Verbindung zu setzen. In den Stellungen, in denen der Quotient nach der Arbeit abnimmt, ist die Respiration in der Arbeitsperiode ausschließlich oder fast ausschließlich thorakal. In 3 von diesen Versuchen hindert die Kontraktion der Bauchmuskeln die abdominale Respiration, in dem 4. Versuche („Liegen vorlings auf dem Schemel“) sind die Bauchmuskeln nicht kontrahiert, nur passiv ausgespannt; aber auch dies bewirkt, daß die Respiration in dieser Stellung eine überwiegende thorakale ist. In den Versuchsreihen, in denen der Quotient nach der Arbeit abnimmt, ist der Brustkorb in 3 von den besprochenen Stellungen (den hängenden Stellungen und dem „Handstand“) stark fixiert und die Respiration daher in überwiegendem Grade abdominal; in dem 4. Falle („Hockstellung“) ist die Mechanik der Respiration ungehindert, und der Atmungstypus ist daher, wie bei Männern gewöhnlich, überwiegend abdominal. In allen Fällen ist, dem Ergebnis der früheren Abhandlung gemäß, anzunehmen, daß unmittelbar nach der Arbeit fixe Säuren im Blute auftreten, und daß dieser Umstand auf den Quotienten einwirkt; es ist aber zugleich gegeben, daß jedenfalls die Variationen, die vorausgehen, mit der wechselnden Empfindlichkeit des Respirationszentrums in Verbindung stehen müssen. Wie es sich mit der Verbindung zwischen der Empfindlichkeit des Zentrums und der Mechanik der Respiration verhält, muß indessen vorläufig dahingestellt bleiben.

Resümee.

Versuche mit einer einzelnen Versuchsperson in 6 verschiedenen Stellungen bei ausschließlich oder überwiegend statischer Muskelarbeit bestätigen die durch Versuche in hängenden Stellungen mit 4 Versuchspersonen gewonnenen Resultate in betreff des Mechanismus der statischen Muskelarbeit. Eine Zusammenstellung der respiratorischen Quotienten während und nach Arbeit bei einer Versuchsperson in 8 verschiedenen Stellungen scheint zu zeigen, daß der Quotient in regelmäßiger Weise mit dem Respirationstypus schwankt. Der Quotient nimmt in allen Fällen während der Arbeit zu; wenn aber die Respiration während der Arbeit abdominal ist, wird der Quotient nach der Arbeit noch mehr zunehmen; wenn die Respiration während der Arbeit dagegen thorokal ist, nimmt der Quotient beim Aufhören der Arbeit ab.

Über das Schicksal der Ketonkörper im intermediären Stoffwechsel und über Zuckerbildung aus Fett.[1]

Von

Dr. med. H. Chr. Geelmuyden.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität in Christiania.)

Minkowski hat als erster den Gedanken ausgesprochen, daß die Ketonkörper intermediäre Stoffwechselprodukte sind, welche im normalen Stoffwechsel in Zucker bzw. in Glykogen übergeführt werden. Und weil nun die Ketonkörper zweifellos hauptsächlich aus Fett bestehen, so würde aus diesem Gedanken gefolgert werden müssen, daß die Ketonkörper Zwischenglieder bei der Zuckerbildung aus Fett im intermediären Stoffwechsel darstellen.

Ich habe mehrmals die Berechtigung dieses Gedankens verteidigt und auch durch experimentelle Belege denselben zu stützen gesucht. Es gelang mir an phlorhizinvergifteten Kaninchen, die mit Kohl gefüttert wurden, durch subkutane Einverleibung von Acetessigsäure und β-Oxybuttersäure in vielen Versuchen eine Steigerung der Zuckerausscheidung — einen sogenannten „Extrazucker" — zu erreichen.[2]

Nachdem diese Versuche veröffentlicht waren, wurde ich von Porges darauf aufmerksam gemacht, daß von ihm und Salomon über ähnliche Versuche an pankreasdiabetischen Hunden schon 1910 berichtet worden war. Die Mitteilung hierüber findet sich in dem Sammelreferat von Porges über den Abbau der Fettsäuren im Organismus.[3] Sie ist ganz kurz und lautet so: „In Gemeinschaft mit Salomon hat Verfasser an pankreasdiabetische Hunde Azetessigsäure

[1] Der Redaktion am 5. Januar 1920 zugegangen.

[2] *Zeitschr. f. physiol. Chemie.* 1911. Bd. LXXIII. S. 176.

[3] *Ergebn. der Physiologie.* Bd. X. S. 46. (Fußnote.)

verfüttert und danach in einem Fall einen mächtigen Anstieg der Zuckerausscheidung beobachtet. In einem anderen Versuch stieg nur der D:N-Quotient. Eine Wiederholung derartiger Versuche scheiterte an der hochgradigen Giftigkeit der Azetessigsäure. Von etwa 15 Tieren gelang es nur diese zwei mehrere Stunden nach der Azetessigsäurezufuhr am Leben zu erhalten.“

Später habe ich meine oben erwähnten Versuche weiter fortgesetzt. Zuerst versuchte ich, durch Einverleibung von Fett (Öl) an phloridzinvergifteten Kaninchen eine Steigerung der Zuckerausscheidung hervorzurufen. Ich ging wie bei meinen früheren Versuchen von der Voraussetzung aus, daß dies am ehesten gelingen würde, wenn gleichzeitig mit dem Fett auch Kohlehydrate im Organismus der Versuchstiere umgesetzt würden, eine Voraussetzung, die ich auch durch literarische Studien über den Einfluß von Fettfütterung auf die Zuckerausscheidung beim Diabetes mellitus bestätigt fand. Es gibt u. a. „fettempfindliche“ Diabetiker, bei denen Fettzufuhr die Zuckerausscheidung steigert. Und dies geschieht am leichtesten bei gleichzeitiger Kohlehydratzufuhr. (Rumpf[1], Falta und Gigon[2], Bernstein, Bolaffio und Weshenrijk[3].)

Die Technik bei meinen Versuchen mit Öl war ganz dieselbe wie die bei meinen oben zitierten Versuchen mit Ketonkörpern geübte, nur mit dem Unterschiede, daß das Öl nicht subkutan, sondern in den Magen appliziert wurde. Ich benutzte dazu eine Punktionsspritze, deren hohle, stählerne Spitze durch die Bauchwand direkt in den Ventrikel gestochen wurde. Dieses Verfahren ist sehr bequem, mißlingt nie und schädigt die Tiere nicht im geringsten.

Ich machte alles in allem 15 solche Versuche. Von diesen gelang es, 10 zu Ende zu führen. Die übrigen 5 mußten wegen Albuminurie oder anderer Mißstände als verunglückt ausgeschieden werden. In 5 von den 10 glücklich vollendeten Versuchen gelang es, eine deutliche Steigerung der Zuckerausscheidung nach Einverleibung von 5 oder 8 ccm Öl zu erreichen. In einem Versuch (XIII) wurde zweimal, am 5. und 8. Versuchstage, Öl appliziert. Erst nach der zweiten Einspritzung trat eine Steigerung der Zuckerausscheidung ein. Ich gebe die Details dieser Versuche hier in Tabellen und Kurventafeln.

---

[1] *Berliner klin. Wochenschr.* Bd. XXXVI. S. 185; *Zeitschr. für klin. Medizin.* Bd. XLV.

[2] *Zeitschr. f. klin. Medizin.* Bd. LXIII. Heft 5 u. 6.

[3] *Ebenda.* Bd. LXVI. S. 378.

Versuch I.

Tag	Futter	Wasser getrunken g	Öl ccm	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	Zucker g	N g
1	300 g Kohl	10		1·50*)	260	4·02	0·81
2	300 g ,,	36		,,	270	6·08	1·29
3	300 g ,,	38		,,	?**)	5·86	1·33
4	300 g ,,	62		,,	327	6·30	1·65
5	300 g ,,	140	5	,,	410	7·43	1·91
6	300 g ,,	130		,,	380	8·00	1·56
7	300 g ,,	135		,,	360	6·22	1·26
8	300 g ,,	133		,,	365	6·77	1·36

*) 0·75 g morgens und abends.
**) Zucker und N wurde im Harn + Waschwasser bestimmt.

Versuch III.

Tag	Futter	Wasser getrunken g	Öl ccm	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	Zucker g	N g
1	404 g Kohl	26		1·50*)	230	1·93	0·98
2	450 g ,,	12		,,	380	2·99	0·99
3	450 g ,,	36		,,	**)		
4	450 g ,,	24		,,	355	4·66	1·01
5	450 g ,,	28		,,	352	5·43	1·05
6	450 g ,,	46		,,	367	5·48	1·04
7	450 g ,,	38	5	,,	365	6·86	1·17
8	450 g ,,	48		,,	375	7·32	0·92
9	450 g ,,	53		,,	370	7·27	1·08
10	450 g ,,	40		,,	365	6·76	1·22

Versuch V.

Tag	Futter	Wasser getrunken g	Öl ccm	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	Zucker g	N g
1	200 g Kohl	26		1·50*)	185	2·55	1·08
2	200 g ,,	27		,,	185	3·66	1·37
3	200 g ,,	30		,,	185	2·85	0·93
4	200 g ,,	28	5	,,	160	5·10	1·79
5	200 g ,,	28		,,	240	3·51	1·33
6	200 g ,,	30		,,	172	3·98	1·26
7	200 g ,,	15		,,	198	3·65	0·84

*) 0·75 g morgens und abends.
**) Harn verloren.

Versuch XIII.

Tag	Futter	Wasser getrunken g	Öl ccm	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	Zucker g
1	350 g Kohl	0		1·50*)	245	5·26
2	350 g ,,	0		,,	300	6·84
3	350 g ,,	0		,,	280	6·39
4	350 g ,,	0		,,	?**)	6·54
5	326 g ,,	0	8	,,	204	5·67
6	350 g ,,	0		,,	298	5·80
7	350 g ,,	0		,,	306	6·25
8	342 g ,,	0	5	,,	252	7·21
9	350 g ,,	0		,,	320	7·84
10	350 g ,,	0		,,	?**)	6·63
11	350 g ,,	0		,,	290	7·75

*) 0·75 g morgens und abends.
**) Zucker im Harn + Waschwasser bestimmt.

Versuch XV.

Tag	Futter	Wasser getrunken g	Öl ccm	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	Zucker g	N g
1	350 g Kohl	14		1·50*)	252	4·64	
2	350 g ,,	?		,,	Verlust	3·52	
3	350 g ,,	66		,,	?**)	3·47	
4	350 g ,,	37		,,	322	4·92	
5	350 g ,,	29		,,	280	3·76	
6	220 g ,,	?	8	,,	180	4·14	
7	327 g ,,	60		,,	320	5·69	
8	350 g ,,	88		,,	?**)	6·36	
9	350 g ,,	82		,,	355	7·59	
10	350 g ,,	120		,,	342	5·19	
11	350 g ,,	77		,,	382	5·24	

*) 0·75 g morgens und abends.
**) Zucker im Harn + Waschwasser bestimmt.

Besonders an den Kurventafeln tritt die Erhöhung der Zuckerausscheidung als mehr oder weniger scharf markierter Gipfel hervor. Dieser Gipfel befindet sich nur in einem Versuch (V) an dem Tage der Ölfütterung. Bei den übrigen 4 Versuchen erstreckt sich die Erhebung der Zuckerkurve über mehrere Tage und der Gipfel der Kurve fällt erst einen bis drei Tage nach der Ölfütterung.

In keinem dieser Versuche wurde mehr „Extrazucker" ausgeschieden als das Gewicht des einverleibten Öls, so wie es bei meinen früheren Versuchen mit Ketonkörpern zuweilen der Fall war.

Dagegen zeigt die Kurve des Harnstickstoffs bei meinen Versuchen mit Öl ein ähnliches Verhalten wie bei meinen älteren Versuchen mit Ketonkörpern, bei denen der Harn-N auch bestimmt wurde. An dem Tage der Einverleibung des Öls findet sich an der N-Kurve bei den drei Versuchen, in denen der Harn-N bestimmt wurde, eine kleine Erhebung. Ein Gegner der Theorie von der Zuckerbildung aus Fett im Tierkörper würde vielleicht daraus Anlaß nehmen können, zu erklären, daß meine Versuche mit Öl eine Zuckerbildung aus Fett nicht beweisen. Der Extrazucker könnte aus Eiweiß gebildet worden sein, und das Fett hätte vielleicht nur die Zuckerbildung aus Eiweiß oder sogar nur aus dem im Futter befindlichen Kohlehydrat beschleunigt.

Als entscheidende Beweise einer Zuckerbildung aus Fett sind aber meine Versuche auch nicht gemeint. Sie beabsichtigen nur zu zeigen, daß die Glykosurie beim Phloridzintier durch Fettzufuhr gesteigert

werden kann, wenn das Tier mit konstant gehaltenen kleinen Kohlehydratmengen gefüttert wird. Weiteres werde ich aus denselben vorläufig nicht schließen. Allerdings gewinnt die Vermutung, daß im Tierkörper Zucker aus Fett gebildet werden kann, durch dieselben eine gute Stütze. Die Frage von der Zuckerbildung aus Fett im Tierkörper ist aber viel zu verwickelt, um überhaupt durch ein experimentum crucis irgendwelcher Art erledigt werden zu können. Zur Lösung derselben bedarf es eingehender und allseitiger Erörterungen einer langen Reihe von stoffwechselphysiologischen Tatsachen. Unter diesen werden wohl auch die hier mitgeteilten Experimente ihre Stelle finden.

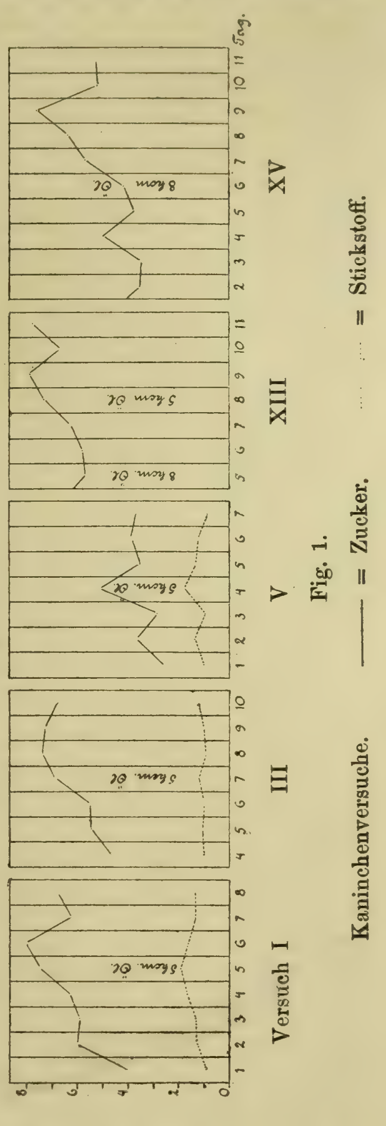


Fig. 1. Kaninchenversuche. ——— = Zucker. ...... = Stickstoff.

Was nun die Frage nach der Bedeutung der kleinen Erhebung der N-Kurve am Tage der Einverleibung des Öls betrifft, so ist es kaum möglich, aus den mitgeteilten Versuchen sichere Schlüsse zu ziehen. Die Kurven lassen kaum eine genaue quantitative Bestimmung des Betrages der Erhebung zu, was notwendig wäre, um z. B. den Extrazucker mit der Mehrausscheidung von N zu vergleichen. In den Versuchen I und III macht die Steigerung der N-Ausscheidung kaum 2 bis 3 Zehntelgramme aus, im Versuch V vielleicht ein halbes Gramm. Berücksichtigt man, daß der N-freie Rest des Eiweißmoleküls nach der Abspaltung von Harnstoff und den übrigen N-haltigen Harnbestandteilen nach Rubner[1] kaum mehr

[1] *Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung.*

als 6·5 g Zucker auf 1 g N liefern würde, so würde also $^1/_2$ g N 3·25 g Zucker entsprechen. Dies würde ausreichen, um die Erhebung der Zuckerkurve im Versuch V zu erklären, wo die Mehrausscheidung von Zucker nur einen Tag dauert. In den Versuchen I und III ist dagegen die Mehrausscheidung von N zu klein, um daraus allein die mehrere Tage dauernde starke Erhebung der Zuckerkurve zu erklären.

Ich glaube, daß die Mehrausscheidung von N dadurch zustande kommt, daß sich die intermediären Spaltprodukte des einverleibten Fettes, in casu vielleicht die Ketonkörper, um Zucker bilden zu können, mit antiketogenen, aus Eiweiß entstandenen Aminosäuren synthetisieren müssen und deswegen eine Steigerung der an und für sich kleinen Eiweißzersetzung der Tiere veranlaßt haben. Der resultierende Zucker würde demnach sowohl aus Fett als aus Eiweiß herstammen.

Daraus, daß sich die Erhebung der Zuckerkurve nach der Einverleibung von Öl in den meisten Versuchen über mehrere Tage erstreckt, scheint es hervorzugehen, daß die Zuckerbildung aus Fett eine langsam verlaufende Funktion des intermediären Stoffwechsels ist, um so mehr, wenn man zugibt, daß dieselbe wahrscheinlich durch die gleichzeitige Umsetzung von Kohlehydraten in meinen Versuchen beschleunigt worden sein wird.

Nach Abschluß dieser Versuche mit Öl wollte ich prüfen, ob Einverleibung von sogenannten ketogenen Substanzen wie Essigsäure, Buttersäure, Kapronsäure, Leucin und Tyrosin die Zuckerausscheidung bei Phloridzintieren steigern würde. Die Buttersäure und die Kapronsäure waren schon durch ältere Versuche[1] als Ketonbildner festgestellt worden. Die Essigsäure ist als solcher bekannt worden durch die Arbeiten von Embden[2], Loeb[3] und Friedmann.[4] Nach denselben bildet aber die Essigsäure in Leberdurchblutungsversuchen nur dann Acetessigsäure, wenn die Leber glykogenfrei ist. In glykogenhaltigen Lebern wird die Bildung von Azetessigsäure aus Essigsäure vollständig unterdrückt. Wenn ich also in Tierversuchen die ketogenen Substanzen in Ketonkörper, und von solchen aus weiter in Zucker überführen wollte, so wäre zu erwarten, daß dies nur dann gelingen würde,

---

[1] Magnus-Levy, Die Azetonkörper. *Ergebn. der inn. Medizin und Kinderheilkunde.* 1908. Bd. I. S. 375ff.

[2] *Zeitschr. f. physiolog. Chemie.* 1913. Bd. LXXXVIII. S. 246.

[3] *Biochem. Zeitschr.* 1913. Bd. XLVII. S. 118.

[4] *Ebenda.* 1913. Bd. LV. S. 436.

wenn der Leber durch Kohlehydratzufuhr Gelegenheit geboten würde, Glykogen zu bilden.

Ich wählte zu diesen Versuchen nicht Kaninchen, sondern Hunde, weil diese gegen die deletären Wirkungen des Phloridzins viel widerstandsfähiger sind als die Kaninchen. Ich fütterte sie mit konstanten Rationen von magerem Pferdefleisch, dem eine kleine, ebenfalls konstante Ration von Haferflocken zugemischt war. Das Phlorhizin wurde nach der Methode von Coolen[1] appliziert. Die Tiere bekamen jeden Morgen 1 g Phloridzin in Öl suspendiert subkutan eingespritzt.

Von derartigen Versuchen führte ich zwei mit Buttersäure (XVI und XVII), einen mit Essigsäure (XVIII) und einen mit N-Kapronsäure (XIX) aus. Die Säuren wurden den Tieren als Natronsalze subkutan beigebracht.

Die Versuche mit Essigsäure und Buttersäure ergaben eine Ausscheidung von Extrazucker. Die Kurve der Zuckerausscheidung hat in diesen Versuchen einen scharf ausgesprochenen Gipfel (vgl. Fig. 2).

Versuch XVI.

Männlicher Hund. Körpergewicht 8·6 kg.

Tag	Futter täglich	Wasser getrunken g	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	N g	Zucker g	Azeton g	β-Oxybuttersäure g	Geprüfte Substanz
1	300 g Fleisch 80 g Haferflocken	490	1	1120		54·7			
2		1010	1	930		54·4	÷		
3		775	1	880		63·8	÷		10—12 g Buttersäure
4		1360	1	1050		70·9	0·87		
5		750	1	1050		66·1	0·60		
6		740	1	1200		60·9	÷		

Versuch XVII.

Männlicher Hund. Körpergewicht 9·5 kg.

Tag	Futter täglich	Wasser getrunken g	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	N g	Zucker g	Azeton g	β-Oxybuttersäure g	Geprüfte Substanz
1	300 g Fleisch 80 g Haferflocken	360	1	730		44·8	÷		
2		720	1	750	3·08	44·2	÷		
3		675	1	625	7·40	49·4	÷		
4		780	1	710	8·23	55·3	÷		
5		560	1	580	8·47	56·0	÷	0·12	10 g Buttersäure
6		818	1	814*)	9·73	64·6	÷	0·00	
7		1080	1	1020	10·42	70·3	÷	2·44	
8		533	1	590	8·17	57·9	÷		
9		675	1	590	7·88	56·2	÷		

*) Harn alkalisch.

[1] *Arch. de Pharmacodynamie.* 1895. Bd. I. S. 267.

Versuch XVIII.

Weiblicher Hund. Körpergewicht 8·5 kg.

Tag	Futter täglich	Wasser getrunken g	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	N g	Zucker g	Azeton g	β-Oxybuttersäure g	Geprüfte Substanz
1	300 g Fleisch 80 g Haferflocken	1000	1	500		38·9			
2		595	1	735		57·0			
3		735	1	825		55·6			
4		560	1	630	7·51	57·0	÷		
5		805	1	765	8·15	55·1	÷	0·55	9·5 g Essigsäure
6		1290	1	1060	8·75	58·0	÷	0·23	
7		255	1	650	9·37	65·3	÷	0·00	
8		450?	1	925	9·54	60·8	÷	0·24	
9		375	1	405	7·96	52·1	÷	0·28	

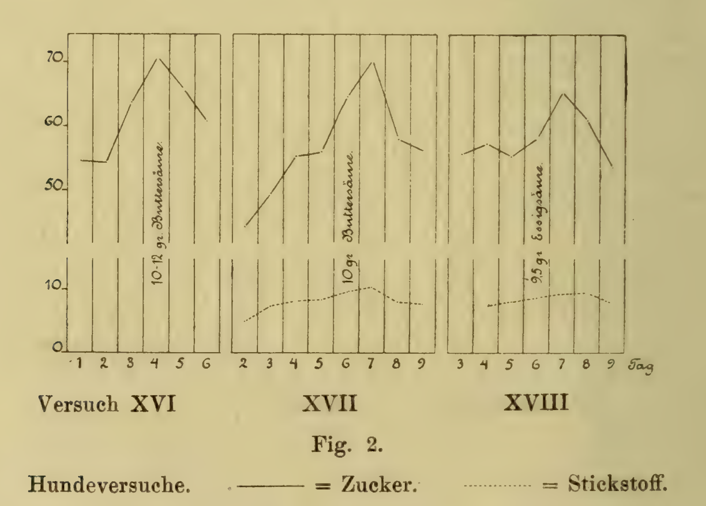
Versuch XIX.

Männlicher Hund. Körpergewicht 12·15 kg.

Tag	Futter täglich	Wasser getrunken g	Phlorhizin g	Harnmenge ccm	N g	Zucker g	Azeton g	β-Oxybuttersäure g	Geprüfte Substanz
1	300 g Fleisch 80 g Haferflocken	480	1	845		54·0	÷		
2		650	1	830		69·4	÷		
3		925	1	1000		67·6	÷		
4		798	1	910	10·59	72·8	÷	0·05	
5		903	1	990	8·62	66·7	÷	0·78	10 g Kapronsäure
6		856	1	825*)	8·90	71·9	÷	0·58	
7		903	1	?**)	9·35	70·0	÷	3·34	
8		907	1	870	8·90	70·1	÷	0·59	
9		737	1	860	8·77	62·0	÷	÷	

*) Harn alkalisch.

**) Zucker und N im Harn + Waschwasser bestimmt.



Versuch XVI XVII XVIII

Fig. 2.

Hundeversuche. ——— = Zucker. ········· = Stickstoff.

In dem ersten Versuch mit Buttersäure fällt dieser Gipfel an dem Tage der Einverleibung der Säure, in dem zweiten Versuch erst am folgenden Tage. Es zeigt dies, daß die Umwandlung der Säuren im intermediären Stoffwechsel nicht momentan, sondern im Gegenteil ziemlich langsam, im Laufe von ein paar Tagen sich abspielt. Dies geht auch daraus hervor, daß die Ausscheidung von β-Oxybuttersäure, welche ich im Versuch XVII, XVIII und XIX bestimmte[1], erst am Tage nach der Einverleibung der Säuren eine Erhöhung erfuhr.

In den Versuchen XVII bis XIX bestimmte ich auch den Harnstickstoff. Derselbe erfuhr in den Versuchen XVII und XVIII eine leichte Steigerung am Tage der Einverleibung der zu prüfenden Säure. Die Kurve des Harn-N hat hier eine schwache Erhebung, die aber kaum zur Erklärung des Extrazuckers als entstanden allein durch eine Mehrzersetzung von Eiweiß genügen dürfte. Im Versuch XIX trat nur eine ganz unbedeutende Erhöhung der N-Ausscheidung ein.

Es ist aus den Tabellen ersichtlich, daß die einverleibten buttersauren und essigsauren Natronsalze, nicht aber das kapronsaure Natron die Diurese gesteigert haben. Daraus würde man vielleicht zu schließen geneigt sein, daß die Steigerung der Zuckerausscheidung durch Ausschwemmung des im Blute und in den Organen enthaltenen Zuckers zustande gekommen sei. Ein solcher Schluß dürfte aber kaum richtig sein. Denn erstens hat Loewi[2] gezeigt, daß Diuretica die Zuckerausscheidung bei der Phloridzinglykosurie nicht steigern, und zweitens verläuft die Steigerung der Zuckerausscheidung nur in einem meiner Versuche der Diurese einigermaßen parallel, nämlich im Versuch XVII. Im Versuch XVI bleibt die Diurese noch hoch, während die Zuckerausscheidung schon wieder sinkt, und im Versuch XVIII ist die Diurese nur am Tage der Einverleibung von essigsaurem Natron gestiegen, während die Zuckerausscheidung erst am folgenden Tage, an welchem die Diurese wieder zurückgegangen ist, anzusteigen anfängt. Es durfte also auch von dieser Seite aus nichts gegen den Schluß eingewendet werden können, daß die einverleibten Substanzen wirkliche Muttersubstanzen des ausgeschiedenen Extrazuckers darstellen.

Es war ursprünglich meine Absicht, ähnliche Versuche auch mit anderen anerkannt ketogenen Substanzen, wie Isovaleriansäure, Leucin

---

[1] *Methodik in Berliner klin. Wochenschr.* 1910. Nr. 13.

[2] *Arch. für exp. Path. u. Pharm.* Bd. XLVIII. S. 412 und Bd. L. S. 326. Zitiert bei Lusk, *Ergebn. der Physiol.* Bd. XII. S. 337.

und Tyrosin auszuführen. Äußere Verhältnisse bewirkten aber, daß ich vorläufig auf weitere Versuche dieser Art verzichten mußte.

Inzwischen wurde ich darauf aufmerksam, daß solche Versuche an diabetischen Menschen schon längst angestellt waren. Es sind dies die Versuche von Baer und Blum.[1] Diese Autoren hatten die Absicht, den Abbau der Fettsäuren im Tierkörper zu studieren. Sie versuchten durch Einverleibung verschiedener fetter Säuren und Aminosäuren an Diabetikern auf kohlehydratfreier Diät und Bestimmung der im Harn ausgeschiedenen Ketonkörpern zu ermitteln, ob der Abbau der einverleibten Substanzen über eine Ketonkörperstufe erfolgte. Als ketogene Substanzen bewährten sich Buttersäure, Kapronsäure, Isovaleriansäure, β-Methylbuttersäure, Leucin, Tyrosin und Phenylalanin. Die Verfasser bestimmten außer Azeton und β-Oxybuttersäure auch N und Zucker im Harn. Bei der Diskussion ihrer Versuche nehmen sie aber gar keine Rücksicht auf das Verhalten des Harnzuckers, obwohl dasselbe sehr charakteristisch ist. Die meisten der von ihnen geprüften ketogenen Körper steigern auch den Harnzucker. Allerdings ist dies nicht immer der Fall. Es geschieht nur bei einigen ihrer Patienten und zwar besonders bei denen, die an schwerem Diabetes mit Azidose litten, seltener bei denen mit leichtem Diabetes. Um dies klar zu machen, habe ich die Ausscheidung des Zuckers und der Gesamtketonkörper bei denjenigen ihrer Versuche, die für unsere Fragestellung besonders erleuchtend erscheinen, graphisch dargestellt.

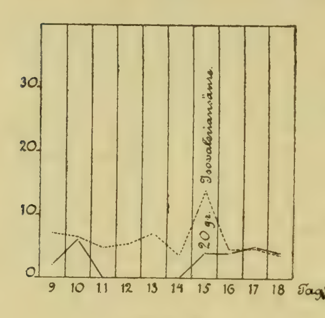


Fig. 3.
Baer u. Blum, Mitt. I. Tab. I. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LV. S. 112.
——— = Zucker.
········ = Ketonkörper.

Fig. 3 stellt einen Versuch mit Isovaleriansäure an einem Diabetiker mit leichter Azidose dar. 20 g der Säure — allerdings mit 100 g mucilago Salep vermischt — steigerte die Ketonkörperausscheidung um etwa 10 g. Gleichzeitig stieg die Zuckerausscheidung von 0 bis 4 g. Ähnliches tritt auf der Fig. 6 hervor, nur daß hier die Zuckerausscheidung von 0 auf 17 g steigt, während die Ketonkörperausscheidung fast unverändert bleibt. An der Fig. 4 treten wieder die ketogenen Eigenschaften der Säure deutlich zutage, während ihr

[1] Vier Mitteilungen in *Arch. für exp. Path. u. Pharm.* 1906—1910. Bd. LV. S. 90; Bd. LVI. S. 92; Bd. LIX. S. 321 und Bd. LXII. S. 129.

Einfluß auf die Zuckerausscheidung mehr zurücktritt. Erst am Tage nach der Einverleibung der Isovaleriansäure hat die Zuckerkurve einen Gipfel.

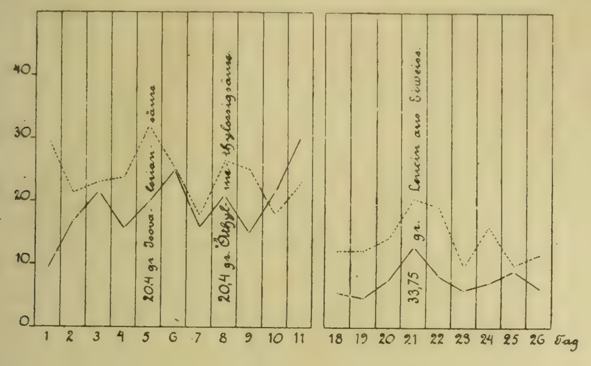


Fig. 4.

Baer u. Blum, Mitt. I. Tab. II. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LV. S. 114.

——— = Zucker. .... = Ketonkörper.

Auf der Fig. 7 und 9 finden sich zwei Versuche mit Isovaleriansäure an einem Patienten mit schwerem Diabetes dargestellt. Im ersten Versuch am 11. Tage stieg sowohl die Zucker- als die Ketonkörperausscheidung stark an. Im zweiten Versuch am 45. Tage hat die Säure anscheinend gar keine Wirkung weder auf die Zucker- noch auf die Ketonkörperausscheidung ausgeübt.

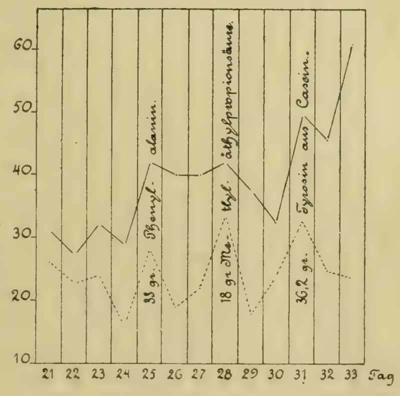


Fig. 5.

Baer u. Blum, Mitt. II. Haupttabelle. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LVI. S. 98.

——— = Zucker.

.... = Ketonkörper.

Noch ein Versuch mit Isovaleriansäure findet sich auf der Fig. 6. Hier hat 20 g der Säure eine Mehrausscheidung von mehr als 20 g Zucker veranlaßt. Wie ich in meiner früheren Mitteilung hervorhob, bedeutet dies wahrscheinlich, daß sich die Säure bei der Zuckerbildung mit anderen Substanzen, z. B. etwa Spaltprodukte des Eiweißes, verbunden hat.

Wenn man die Versuche von Baer und Blum mit Isovaleriansäure durchmustert, so bekommt man entschieden den Eindruck, daß

in denselben ihre zuckertreibenden Eigenschaften meistens viel stärker hervortreten als ihre ketogenen.

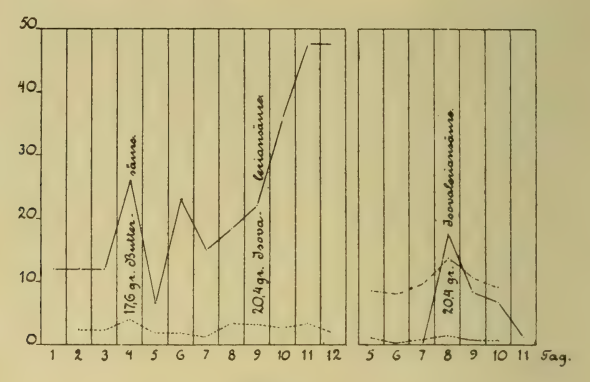


Fig. 6.

Baer u. Blum, Mitt. III. Tab. III u. IV. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LIX. S. 326 u. 327.

——— = Zucker. ············ = Ketonkörper. —·—·— = N.

Mit der Buttersäure, die als ketogene Substanz schon lange bekannt war, bevor Baer und Blum ihre Versuche mit derselben anstellten,

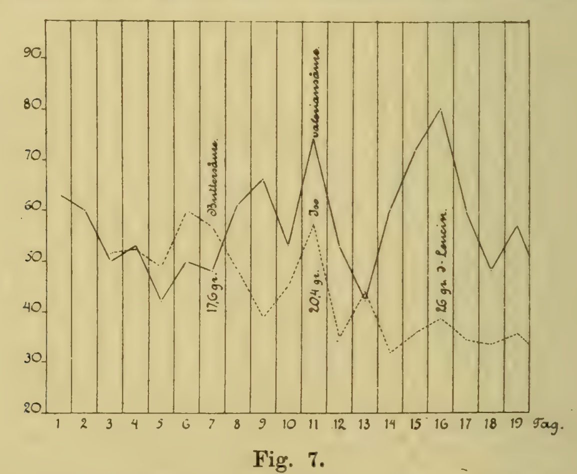


Fig. 7.

Baer u. Blum, Mitt. IV. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LXII. S. 134.

——— = Zucker. ············ = Ketonkörper.

finden sich in ihren Publikationen drei Versuche, bei welchen ihre Wirkung auf die Zuckerausscheidung hervortritt. Auf der Fig. 6 bewirkt sie eine starke Steigerung der Zuckerausscheidung. Die Ketonurie

dagegen bleibt ziemlich unverändert. Auf der Fig. 7 scheint die Wirkung der Säure im ersten Versuch am 7. Tag mehr zweifelhaft. Die Ketonurie nimmt ab und die Zuckerausscheidung steigt erst an den folgenden zwei Tagen in die Höhe. Im zweiten Versuch am 48. Tage (Fig. 9) steigt die Zuckerausscheidung nach Einverleibung von 17·6 g der Säure von 70 bis 100 g, um am folgenden Tag wieder auf 65 g zu sinken.

Versuche mit Eiweißleucin (l-Leucin) finden sich in den Figg. 4 und 8. Im ersten tritt die Wirkung auf die Ketonurie mehr hervor als die auf die Zuckerausscheidung, im zweiten vielleicht mehr die

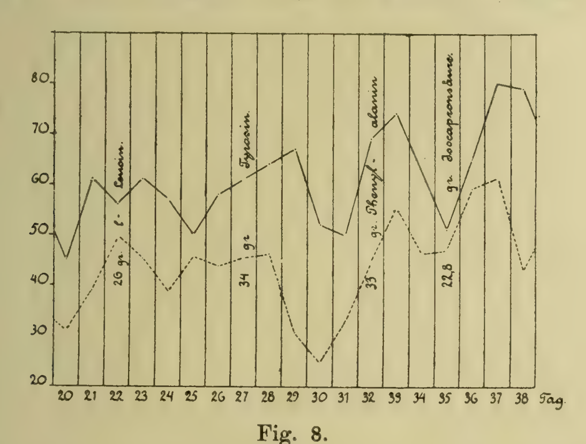


Fig. 8.

Baer u. Blum, Mitt. IV. Tab. II. Schmiedeb. *Archiv.* Bd. LXII. S. 134.

——— = Zucker. ·········· = Ketonkörper.

auf die Zuckerausscheidung, obwohl sich der Gipfel der Zuckerkurve erst am Tage nach der Einverleibung der Aminosäure befindet, und an diesem Tage selbst die Zuckerkurve eine kleine Senkung aufweist.

Über Tyrosin und Phenylalanin finden sich Versuche in den Figg. 5 und 8. Auf beiden tritt nach Eingabe von Tyrosin eine Steigerung sowohl der Ketonurie als der Zuckerausscheidung ein. Die Wirkung auf die Zuckerausscheidung ist die weitaus stärkere. In der Fig. 8 tritt sie etwas verspätet ein. Ganz ähnlich gestaltete sich die Wirkung des Phenylalanins. Auch hier liegt die Zuckerkurve weit höher als die Kurve der Ketonkörper (Fig. 8).

Die Stickstoffausscheidung scheint in Baers und Blums Versuchen von den einverleibten Substanzen gar nicht, oder jedenfalls nur wenig beeinflußt. Ich habe sie deshalb auf den Kurventafeln

nicht dargestellt. Nur in einem Versuche mit Isovaleriansäure (Fig. 6) hat die N-Kurve einen deutlich hervortretenden Gipfel. Dasselbe ist auch in dem Versuch mit d-Leucin (Fig. 7) der Fall, was ja doch bei einer N-haltigen Substanz nicht auffallen kann.

Man kann gegen die Versuche von Baer und Blum einwenden, daß ihre Resultate inkonstant sind und zuweilen, wenn sie wirklich positiv ausfallen, d. h. eine Mehrung der Zucker- oder Ketonkörperausscheidung aufweisen, nur andeutungsweise hervortreten. In anderen Fällen ist aber diese Wirkung scharf und deutlich ausgesprochen. Die Inkonstanz der Resultate scheint aber allen Versuchen solcher Art, auch denen von anderen Autoren, die mit gleichen Methoden die Zuckerausscheidung nach Einverleibung chemischer Substanzen an phloridzinvergifteten Tieren untersuchten, anzuhaften. Sie findet sich auch in meinen eigenen Versuchen. Eine Substanz vermehrte in einem Versuch die Glykosurie, in einem anderen, vielleicht sogar mit demselben Tier und unter anscheinend ganz gleichen Versuchsbedingungen angestellten, nicht. Die stoffwechselphysiologische Individualität der Versuchstiere, die sicher nicht konstant, sondern variabel ist, bei Diabetikern die Schwere der Krankheit, der Ernährungszustand, die Art der Ernährung und andere noch nicht näher zu charakterisierende Versuchsbedingungen dürften hier mit einspielen.

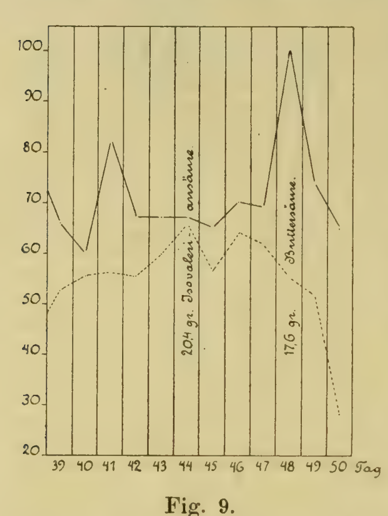


Fig. 9.

Baer u. Blum, Mitt. IV. Tab. II Schmiedeb. *Arch.* Bd. LXII. S. 134.

——— = Zucker.

······ = Ketonkörper.

Gewöhnlich rechnen die Autoren nur mit ihren „positiv" ausgefallenen Versuchen, d. h. mit denen, die mit ihren arbeitshypothetischen Vermutungen übereinstimmen und sehen diese als experimentelle Stützen ihres „quod erat demonstrandum" an. Ich meine, daß dies richtig ist, wenn es nur mit gebührender kritischer Vorsicht geschieht.

Es ist kaum ein Zufall, daß die Steigerung der Zuckerausscheidung nach Einverleibung von ketogenen Substanzen gerade bei denjenigen

Versuchen von Baer und Blum am deutlichsten hervortritt, welche an Patienten mit schwerem Diabetes mit Azidose angestellt wurden. Bei solchen Patienten dürfte nämlich der intermediäre Stoffwechsel vorzugsweise auf eine Neubildung von Zucker aus Fett und Eiweiß, und deshalb voraussichtlich auch auf eine Umbildung von Ketonkörpern in Zucker eingestellt sein.

Daß diese Vermutung richtig ist, scheint auch daraus hervorzugehen, daß bei diesen Patienten die Zucker- und Ketonkörperkurven meistens eine nicht zu verkennende Parallelität in ihrem Verlaufe aufweisen. Meistens fallen die Täler und die Gipfel der beiden Kurven an denselben oder an benachbarten Tagen. Und wenn Störungen im Parallelismus der Kurven vorhanden sind, so scheinen dieselben am häufigsten gerade durch die geprüften Substanzen veranlaßt zu sein, d. h. die Substanzen wirkten einseitig entweder auf die Keton- oder auf die Zuckerausscheidung. (Isovaleriansäure, Figg. 3 und 4; d-Leucin, Fig. 7; Tyrosin, Fig. 8; Buttersäure, Fig. 9.)

Sowohl dieser Parallelismus der Ketonkörper- und Zuckerausscheidung als der Umstand, daß eine und dieselbe Substanz je nach Umständen bald die Zuckerausscheidung, bald die Ketonkörperausscheidung, bald beide auf einmal in die Höhe treibt, deutet darauf, daß die Ketonkörper und der Zucker Produkte einer und derselben Funktion im intermediären Stoffwechsel darstellen, und zwar der Funktion, welche einerseits das Fett und seine Abkömmlinge, die Ketonkörper, andererseits die ketogenen Aminosäuren des Eiweißmoleküls in Zucker überführen. Nach dieser Auffassung würde die Ketonurie ganz im Sinne Minkowskis als Ausdruck einer mißlungenen oder unvollständigen Zuckersynthese betrachtet werden müssen.

Ein Versuch, die Plancksche Resonatorentheorie der Lichtabsorption auf die Absorption des Sehpurpurs anzuwenden.[1]

Von

Yrjö Renqvist.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Über die Absorption des Lichtes im Sehpurpur der Retina haben als erster A. König[2] und etwas später Else Köttgen und G. Abelsdorff[3] genauere Feststellungen gemacht. König zeigte, daß die bei Licht von verschiedener Wellenlänge im Sehpurpur absorbierten Lichtenergien proportional den mit Trichromaten bestimmten Reizschwellenwerten desselben Lichtes wie auch den sog. Reizwerten der Monochromate sind. Dieser Parallelismus erstreckt sich, wie Trendelenburg[4] dargetan hat, auch auf die Reizwerte der Trichromate bei schwachem Licht oder die sog. Dämmerungswerte.

Die im Sehpurpur absorbierte Lichtenergie ist in diesen Versuchen für Licht von verschiedener Wellenlänge in der Weise berechnet, daß dessen mit dem Spektrophotometer bestimmter Absorptionskoeffizient mit der Energie dieses Lichtes in dem angewandten Spektrum multipliziert wurde, welche wiederum aus P. S. Langleys Messungen der Verteilung der Energie im Spektrum erhalten worden war.

---

[1] Der Redaktion am 1. Februar 1920 zugegangen.

[2] A. König, Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. *Sitzungsber. d. k. preuß. Akad. d. Wissenschaften.* Bd. XXI. Juni 1894. S. 577.

[3] E. Köttgen u. G. Abelsdorff, Absorption und Zersetzung des Sehpurpurs bei den Wirbeltieren. *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* 1896. Bd. XII. S. 161.

[4] W. Trendelenburg, Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht. *Habilitationsschrift.* Leipzig, J. A. Barth. 1904.

Ihre Ergebnisse haben König und Trendelenburg graphisch dargestellt, wobei die Kurven, durch welche die Abhängigkeit der absorbierten Energien und andererseits der Dämmerungswerte und der Reizwerte der Monochromate von der Wellenlänge des Lichtes veranschaulicht werden, einander außerordentlich gut folgen. Die beiden Kurven sind dabei für denselben Maximalwert berechnet.

König schließt hieraus, daß die im Sehpurpur absorbierte Lichtenergie dem Reizwert dieses Lichtes proportional ist. Die typische, eigenartige Form der Absorptions- und „Energie-Helligkeitswertkurve" führte wohl König als den ersten dazu, in ihr den Ausdruck einer Resonanzerscheinung zu sehen.[1] König erwähnt auch, daß er die Form derjenigen Kurve suchte, welche auf einer Mitschwingung bestimmter, mechanischer Resonatoren beruhe und welche seiner „Energie-Helligkeitswertkurve" sich am besten anschmiegte. Er versuchte also die Lichtabsorption des Sehpurpurs als eine mechanische Resonanzerscheinung zu erfassen. König sagt von seinem Resultate nur, daß die berechnete Kurve in der Nähe des Maximums zu schnell und nach den Enden des Spektrums hin zu langsam abfiel.

Auf diesen Ergebnissen fußend, habe ich Max Plancks Absorptionstheorie des Lichtes auf die Absorption des Sehpurpurs anzuwenden versucht. Da es möglich ist, daß die Resultate der Bestimmungen mit Hilfe irgendeiner Absorptionstheorie erklärt werden können, und zwar ebenso möglich wie überhaupt die Erklärung der Absorption von Stoffen mit ihrer Hilfe, so hätten wir infolge dieser Anwendung nicht nur eine für den Verlauf der Absorption gültige mathematische Formel, sondern auf Grund der Ergebnisse Königs könnten wir auch eine Hypothese darüber aufstellen, von welcher Natur die Vorgänge sind, die sich im Sehpurpur der Retina abspielen, wenn das Licht auf denselben einwirkt.

In Betracht kommen hier wohl nur die Absorptionstheorien, die sich im Sinne der modernen Physik auf die Anschauung von der elektromagnetischen Natur des Lichtes gründen. Die elektromagnetische Dispersions- und Absorptionstheorie Max Plancks unterscheidet sich nun von den anderen elektromagnetischen Theorien dadurch, daß ihre Voraussetzungen möglichst wenig unabhängige Konstanten ein-

---

[1] A. König, Über den Helligkeitsverlauf der Spektralfarben bei verschiedener absoluter Intensität. *Beiträge zur Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* Helmholtz-*Festschrift.* 1891. S. 369.

schließen. Die Erklärung, die sie den Erscheinungen gibt, ist infolgedessen möglichst leicht physikalisch zu verstehen.

Ich versuche jetzt die Voraussetzungen anzugeben, auf denen sich die Theorie Plancks[1] aufbaut.

Planck nimmt an, daß der Stoff, auf welchen die elektromagnetischen Lichtwellen wirken, kleine Resonatoren enthält, die unter dem Einfluß der Lichtwellen in Schwingungen geraten können. Diese Resonatoren haben eine bestimmte Eigenschwingungszahl oder eine Eigenwellenlänge. Die Dimensionen der Resonatoren sind verschwindend klein im Vergleich zu ihrer gegenseitigen Entfernung, und zwischen den Resonatoren bestehen keine anderen Einwirkungen als die elektromagnetischen Wellen, die von einem Resonator zum anderen gehen. Planck macht keine besondere Annahme bezüglich der Art der Schwingungen; nach seiner Theorie ist es ganz gleichgültig, ob sie Schwingungen in dem Stoffe vorhandener Ionen oder Elektronen sind.

Abweichend von den anderen Theorien leitet Planck die sog. Dämpfung der Resonatorschwingungen von der Energieverminderung ab, welche durch die Strahlung der Resonatoren in das umgebende Medium verursacht wird. Diese Energieverminderung ist unauflöslich an jede Schwingung eines Resonators gebunden.

In der Theorie von H. A. Lorentz wird die Dämpfung von Zusammenstößen der Resonatoren abgeleitet, während P. Drude annimmt, daß auch eine gewisse Reibung auf die Schwingungen derselben einwirke und die Dämpfung hervorrufe.

Planck hebt allerdings besonders hervor, daß es fraglich sei, ob die experimentellen Tatsachen lediglich mittels der von ihm angenommenen Strahlungsdämpfung erklärt werden können. Nach dieser Auffassung würde nämlich die Dämpfung der Schwingungen sehr klein sein.

Mit Hilfe seiner Resonatoren leitet nun Planck alle Dispersions- und Absorptionserscheinungen der Körper (der isotropen und Nichtleiter) auf Grund von drei für die Substanz charakteristischen Konstanten ab. Diese letzteren sind: die Anzahl N der in der Volumeneinheit enthaltenen Resonatoren, die spezifische Periode n_0 oder die spezifische Wellenlänge λ_0 der Resonatoren und das logarithmische De-

[1] M. Planck, Zur elektromagnetischen Theorie der Dispersion in isotropen Nichtleitern. *Sitzungsber. d. k. preuß. Akad. d. Wiss.* 1902. Erster Halbband. — Zur elektromagnetischen Theorie der selektiven Absorption in isotropen Nichtleitern. *Sitzungsber. d. k. preuß. Akad. d. Wiss.* 1903.

krement σ ihrer Schwingungen. Planck gelingt es dadurch, den Extinktionskoeffizienten $\varkappa$[1] und den Brechungsexponenten ν des Lichtes, der jeder einzelnen auf den Körper wirkenden Lichtwellenlänge entspricht, zu bestimmen.

In der zweiten der oben erwähnten Veröffentlichungen wendet Planck seine Theorie des näheren auf die selektive Absorption des Lichtes an. Die selektive Absorption eines Körpers kann man graphisch einfach so darstellen, daß man den Extinktionskoeffizienten $\varkappa$ durch eine Kurve als Funktion der Wellenlänge ausdrückt; man erhält eine sog. Extinktionskurve. Nach der Theorie Plancks ergeben sich dadurch in verschiedenen Fällen drei untereinander verschiedene Kurventypen. Der Verlauf und die Form der Kurven beruhen darauf, ob der maximale Extinktionskoeffizient $\varkappa_m$ im Verhältnis zu 1 groß, klein oder von mittlerer Größe ist.

Die Kurven des ersten Typus, bei denen $\varkappa_m$ groß ist, sind in bezug auf $\varkappa_m$ unsymmetrisch. Sie senken sich steiler nach den längeren Lichtwellen hin als nach den kürzeren und reichen mit bedeutenden Werten für $\varkappa$ über einen ausgedehnten Teil des Spektrums. Das $\varkappa_m$ dieser Kurven fällt nicht auf der Eigenwellenlänge λ_0 der Resonatoren des absorbierenden Körpers, sondern die dem Maximum entsprechende Wellenlänge λ_m ist größer als λ_0. Wenn die Anzahl N der in der Volumeneinheit vorhandenen Resonatoren zunimmt, steigt und verbreitert sich die Kurve, aber mehr nach der Seite der längeren Wellen hin, so daß sich das $\varkappa_m$ entsprechende λ_m immer mehr von λ_0 entfernt, indem es zugleich größer wird.

Die Kurven des zweiten Typus, bei denen $\varkappa_m$ im Verhältnis zu 1 klein ist, sind schmal. Bei ihnen fällt $\varkappa_m$ auf die Eigenwellenlänge der Resonatoren; $\lambda_m = \lambda_0$. In bezug auf $\varkappa_m$ sind die Kurven fast vollständig symmetrisch. Mit zunehmendem N steigen sie an und verbreitern sich, aber $\varkappa_m$ bleibt ständig bei derselben Wellenlänge λ_0.

Die Kurven des dritten Typus, bei denen also $\varkappa_m$ im Vergleich mit 1 von mittlerer Größe ist, sind Zwischenformen der Kurven des ersten und des zweiten Typus.

Planck hebt nun hervor, daß die Gase diejenigen Körper sein dürften, auf welche seine Theorie am vollständigsten paßt, denn die Moleküle der Gase (die Resonatoren) liegen wirklich weit auseinander.

---

[1] Die Definition des Extinktionskoeffizienten $\varkappa$ ist hier: nachdem das Licht die Strecke λ in dem absorbierenden Körper zurückgelegt hat, hat sich seine Intensität in dem Verhältnis $e^{-4\pi\lambda}$ verringert.

Aber nach ihm würde die Theorie auch besonders die Absorption, wenn auch vielleicht nicht die Dispersion bei schwachen Lösungen erklären können. Bei diesen wirkt das Lösungsmittel störend auf die Dispersion des Lichtes, denn das Lösungsmittel besitzt selber immer eine Dispersion, bei der Absorption aber stört ein farbloses Lösungsmittel nicht, denn dasselbe kann als völlig durchsichtig betrachtet werden. Planck bemerkt, daß die Extinktionskurven schwacher Lösungen wahrscheinlich Kurven des zweiten Typus sind, und als Beispiele führt er die von K. Stöckl[1] mit schwachen Alkohollösungen von Cyanin und Fuchsin festgestellten Extinktionskurven an. Die Bestimmungen Stöckls ze gen, daß die Kurven von kle nen Werten für λ zuerst langsam, dann schneller, bis zu ihrem Maximum ansteigen, von dem sie aber mit weniger steiler Steigung auf ganz niedrige Werte sinken. Die Kurven sind fast symmetrisch, und während die Konzentration der absorbierenden Lösung zunimmt, verändert sich der maximale Extinktionskoeffizient $\varkappa_m$ in bezug auf die Wellenlänge kaum merkbar. Der Wert von $\varkappa_m$ ist ebenfalls klein im Verhältnis zu 1. Der Verlauf der von Stöckl erhaltenen Kurven entspricht also dem zweiten Typus Plancks.

Um nun diese Theorie auf den Sehpurpur anzuwenden, müssen wir zuerst die bekannten Absorptionskoeffizienten a des Sehpurpurs in Extinktionskoeffizienten $\varkappa$ umrechnen. Die Gleichung zwischen diesen Größen ist:

$$a = 1 - e^{-\frac{4\pi\varkappa D}{\lambda}},$$

woraus

$$\varkappa = \frac{4}{4\pi D}\lambda \cdot \log\frac{1}{1-a}.$$

D ist in dieser Gleichung die Dicke der absorbierenden Schicht. Es ist zu beachten, daß diese Schicht nicht ebenso dick wie die bei den Versuchen angewandte Lösungsschicht zu sein, sondern vielleicht nur einen kleinen Teil von deren Dicke zu besitzen braucht.

Wie erwähnt, haben König, Köttgen und Abelsdorff sowie Trendelenburg die Lichtabsorption bei dem Sehpurpur bestimmt.

König benutzte Purpur aus der menschlichen Retina. Köttgen und Abelsdorff bestimmten die Absorption in dem Sehpurpur mehrerer

[1] K. Stöckl, Messungen über die Dispersion und Absorption von Lösungen anormal brechender Substanzen bis zu großen Verdünnungen. *Münchener Inaug.-Diss.* Tübingen 1900.

Wirbeltiere. Trendelenburg schließlich studierte die Absorption nur an Purpur aus den Augen des Kaninchens.

Ich habe im folgenden die von Köttgen und Abelsdorff sowie von Trendelenburg an dem Sehpurpur des Kaninchens erhaltenen Absorptionswerte benutzt. Die Erstgenannten haben nämlich gezeigt, daß sich die Absorption des Lichtes im Sehpurpur des Menschen und mehrerer Säugetiere, darunter des Kaninchens, ganz analog verhält, so daß wir bei unseren Bestimmungen den Purpur des Menschen gut durch den des Kaninchens ersetzen können, wie es Trendelenburg in seiner oben erwähnten Arbeit getan hat. Auf diese Weise können wir mit genaueren Absorptionswerten rechnen, denn die Absorption des Sehpurpurs des Kaninchens ist durch zahlreiche exakte Versuche bestimmt, während mit dem schwer erhältlichen Purpur des Menschen nur einmal Bestimmungen ausgeführt worden sein dürften, und zwar in dem erwähnten Versuch Königs. König bemerkt, er habe bei der Ausführung dieser Bestimmungen noch keine Übung in der Extraktion des Sehpurpurs und in der Versuchstechnik überhaupt gehabt.

Die Resultate meiner Berechnung sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt. In Tabelle 1 finden sich in der zweiten Kolumne die Werte von den Absorptionskoeffizienten a nach Trendelenburg. In der dritten Kolumne sind die mit Hilfe von a berechneten relativen Werte von $\varkappa$ $\left(\lambda \cdot \log \frac{1}{1-a}\right)$ angeführt, wobei λ in cm genommen ist.

Tabelle 1.

a nach Trendelenburg.
$\lambda_0 = 510\,\mu\mu$.

λ in $\mu\mu$	a	$\varkappa = \lambda \cdot \log \frac{1}{1-a}$	$\varkappa = \frac{\varkappa_m \sigma^2 \lambda_0^2}{\sigma^2 \lambda_0^2 + 4\pi^2 (\lambda - \lambda_0)^2}$
589	0·0483	0·00000127	0·00000287
569	0·1472	394	449
550	0·3011	856	727
535	0·4150	0·0000125	0·0000120
520	0·4783	147	144
507	0·5012	153	153
495	0·4535	130	133
484	0·4244	116	105
473	0·3357	0·00000840	0·00000787
463	0·2606	607	605
455	0·1340	284	495

Tabelle 2.

a nach **Köttgen und Abelsdorff.**

$\lambda_0 = 506\ \mu\mu$.

λ in $\mu\mu$	a	$\varkappa = \lambda \cdot \log \frac{1}{1-a}$	$\varkappa = \frac{\varkappa_m \sigma^2 \lambda_0^2}{\sigma^2 \lambda_0^2 + 4\pi^2 (\lambda - \lambda_0)^2}$
600	0·0348	0·00000092	0·00000222
580	0·0753	0·00000197	330
560	0·1892	510	523
540	0·3464	997	876
520	0·4653	0·0000141	0·0000138
500	0·5106	155	153
480	0·4453	123	107
460	0·2768	0·00000647	0·00000640
440	0·0893	179	394

Die Dicke der absorbierenden Flüssigkeitsschicht war in den Versuchen Trendelenburgs 0·3 cm. Wenn D so groß wäre, würde $\varkappa_m$, wie wir aus der Tabelle ersehen, im Verhältnis zu 1 sehr klein sein,

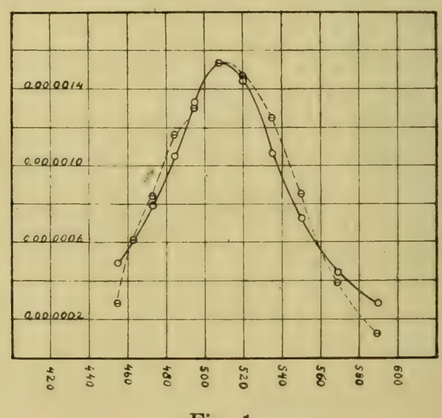


Fig. 1.

und erst, wenn D so unwahrscheinlich kleine Werte wie 10 $\mu\mu$ annähme, würde $\varkappa_m$ Werte erhalten, die der Größenklasse von 1 angehören. Wir können also $\varkappa_m$ im Verhältnis zu 1 mit großer Sicherheit als eine sehr kleine Zahl ansehen, wie es auch in den hier vergleichbaren Versuchen Stöckls der Fall ist.

Die in der graphischen Darstellung, Fig. 1, gestrichelt gezeichnete Kurve verbindet die auf diese Weise bestimmten Werte von $\varkappa$.

In Tab. 2 finden wir ebenso die aus den von Köttgen und Abelsdorff bestimmten Werten für a berechneten $\varkappa$, und Fig. 2 (gestrichelte

Kurve) bietet die graphische Darstellung. In den Versuchen dieser Autoren betrug die Dicke der absorbierenden Purpurlösung 0·4 cm. In beiden Fällen ist also $\varkappa_m$ eine kleine Zahl im Verhältnis zu 1.

Außerdem sehen wir aus den graphischen Darstellungen, daß die Kurven in bezug auf $\varkappa_m$ fast völlig symmetrisch sind.

Die von Köttgen und Abelsdorff mit Purpurlösungen von verschiedener Konzentration ausgeführten Absorptionsversuche zeigen, daß die maximale Absoıption jedesmal bei derselben Wellenlänge eintritt. Aus der Formel $\varkappa = \frac{1}{4\pi D}\lambda \cdot \log \frac{1}{1-a}$ können wir ersehen, daß dem maximalen Wert von a ein maximaler Wert von $\frac{\varkappa}{\lambda}$ entspıicht, und da nach den vorgenannten Autoren einem $a_{\text{max.}}$ bei dem Sehpurpur immer derselbe Wert für λ entspricht, ist mithin die dem $\varkappa_{\text{max.}}$ entsprechende Wellenlänge immer, unabhängig von der Konzentration der Purpurlösung, die gleiche.

Die Extinktionskurven weisen also alle die Merkmale des zweiten Kurventypus von Planck auf, und wir können versuchen, auf die Absorption des Sehpurpurs die für diesen Fall abgeleiteten Formeln anzuwenden.

Nach Planck ist bei den Kurven des zweiten Typus:

$$\varkappa = \frac{\frac{3\pi g}{2\sigma}}{1 + \frac{4\pi^2(\lambda - \lambda_0)^2}{\sigma^2 \lambda_0^2}}.$$

$$\varkappa_m = \frac{1}{2\beta} = \frac{3\pi g}{2\sigma}$$

wird erreicht, wenn $\lambda = \lambda_0$.

In diesem Falle sind:

$$\alpha = \frac{2(\lambda_0 - \lambda)}{3g\lambda_0}, \qquad \beta = \frac{\sigma}{3\pi g}.$$

Wenn wir den Wert für $\varkappa_m$ mit Hilfe von a in der früher dargestellten Weise bestimmt haben, bekommen wir also

$$\varkappa = \frac{\varkappa_m}{1 + \frac{4\pi^2(\lambda - \lambda_0)^2}{\sigma^2\lambda_0^2}} = \frac{\varkappa_m \sigma^2 \lambda_0^2}{\sigma^2\lambda_0^2 + 4\pi^2(\lambda - \lambda_0)^2}.$$

Da wir λ_0 kennen, welches $= \lambda_m$ ist, können wir folglich die Werte von $\varkappa$ mittels der verschiedenen Werte von λ bestimmen, wenn uns σ, das logarithmische Dekrement bekannt ist.

Durch Auflösung der vorstehenden Gleichung erhalten wir für σ:

$$\sigma = \frac{2\pi(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0} \sqrt{\frac{\varkappa}{\varkappa_m - \varkappa}}.$$

Für jede in der Versuchsserie angewandte Lichtwellenlänge ist mit Hilfe des aus a gewonnenen $\varkappa$, σ berechnet worden. Das Mittel aus diesen Werten wurde als Wert von σ benutzt.

Aus den Werten der Tabelle 1 erhalten wir in dieser Weise $\sigma = 0 \cdot 4660$ und aus Tabelle 2, $\sigma = 0 \cdot 4741$.

Nach Planck müßte der Wert von σ eine Zahl von kleiner Größenordnung sein. Obwohl wir, wie wir im folgenden sehen werden, mit

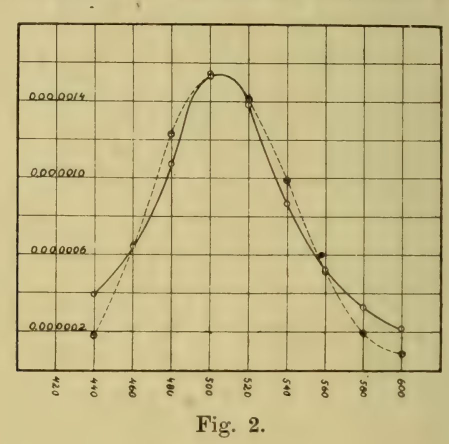


Fig. 2.

Hilfe der Planckschen Theorie die Absorption des Lichtes im Sehpurpur formell gut dartun können, beweist der große Wert, den wir für σ erhalten haben, daß die Annahme der Theorie, die einzige Ursache der Dämpfung der Resonatoren sei die Strahlung in dem Medium, hier nicht zu Recht bestehen kann. Die Dämpfung ist groß, was wir schon daraus sehen können, daß sich die Extinktionskurven über einen nicht ganz unbedeutenden Teil des Spektrums erstrecken und in der Umgebung des Maximums nicht allzu schmal sind.

Planck hat nun gezeigt, daß auch die anderen elektromagnetischen Dispersions- und Absorptionstheorien des Lichtes, nämlich die von Lorentz und Drude, zu derselben Formel für $\varkappa$ führen wie seine eigene Theorie. Formell ist es also einerlei, welche von diesen Theorien man auf die Absorption des Sehpurpurs angewandt sehen will. Die Theorien von Lorentz und Drude nehmen jedoch, wie erwähnt, als Ursache der Dämpfung auch andere Erscheinungen als die Strahlung

der Resonatoren an, und wir können also die obigen Formeln mit vollem Recht auch auf den Sehpurpur anwenden, wenn wir uns nur vor Augen halten, daß die Ursache der Dämpfung in diesem Fall außer in der Strahlung der Resonatoren auch in anderen Vorgängen liegen muß.

Bei der Berechnung der Werte für $\varkappa$ bei verschiedenen Wellenlängen nach der auf der vorhergehenden Seite angeführten Formel erhalten wir die in Tabelle 1 und 2, vierte Kolumne, mitgeteilten Werte.

In den Figg. 1 und 2 geben die ausgezogen gezeichneten Kurven graphisch die Resultate wieder. Aus beiden Darstellungen ersehen wir, daß ganz wie es König bei seinem Versuch gefunden hatte, auch hier die berechneten Kurven in der Nähe des Maximums zu schnell und nach den Enden des Spektrums hin zu langsam abfallen. Im allgemeinen fallen die Kurven doch ziemlich gut zusammen.

Die elektromagnetischen Absorptionstheorien des Lichtes geben also die experimentell bestimmte Absorption im Sehpurpur mit einer gewissen Genauigkeit wieder. Mit Hilfe der Grundideen der Theorie können wir mithin zu der Auffassung gelangen, daß die Wirkung des Lichtes im Sehpurpur der Retina die ist, daß irgendwelche in dem Purpur enthaltenen molekulär kleinen Resonatoren in Schwingungen geraten.

Nach der Planckschen Theorie wurden alle Absorptionsvorgänge von drei der Substanz eigentümlichen Konstanten abgeleitet: 1. von der Eigenwellenlänge der Resonatoren, 2. dem logarithmischen Dekrement der Schwingungen und 3. der Anzahl der Resonatoren in der Volumeneinheit.

Im Sehpurpur würde nach dem Obigen die Eigenwellenlänge der Resonatoren auf Grund der Versuche von Trendelenburg 510 $\mu\mu$ und nach denen von Köttgen und Abelsdorff 506 $\mu\mu$ sein.

Das logarithmische Dekrement war nach den ersteren Bestimmungen 0·4660, nach den letzteren 0·4741.

Was die Anzahl der Resonatoren in der Volumeneinheit, N, betrifft, erhalten wir aus den Gleichungen:

$$\varkappa_m = \frac{3\pi g}{2\sigma} = \frac{3N\lambda_0^3}{8\pi^2} \quad \text{und}$$

$$\varkappa_m = \frac{1}{4\pi D}\lambda_0 \cdot \log\frac{1}{1-a_m},$$

$$N \cdot D = \frac{2\pi}{3\lambda_0^2} \cdot \log\frac{1}{1-a_m} \cdot$$

Setzen wir hier Trendelenburgs Werte für λ_0 und a_m ($a_m = 0 \cdot 5012$) ein, so bekommen wir $N \cdot D = 2 \cdot 43 \times 10^8$ und mit den Werten von Köttgen und Abelsdorff $N \cdot D = 2 \cdot 54 \times 10^8$. Sowohl der erstgenannte Forscher als die beiden letztgenannten benutzten Lösungen, die den Sehpurpur von sechs Retinae enthielten, wonach in diesem Falle in dem Purpur einer Retina $N \cdot D = 0 \cdot 405 \times 10^8$ bzw. $0 \cdot 423 \times 10^8$ ist. Da wir den Wert von D nicht kennen, läßt sich der absolute Wert von N nicht berechnen. Daß jedoch N hier eine große Zahl darstellt, wie es auch natürlich ist, ersehen wir daraus, daß der Wert von D höchstens so groß ist wie der der ganzen absorbierenden Lösungsschicht, d. h. 0·3 bzw. 0·4 cm. Der kleinstmögliche Wert von N wäre also hier $N = 1 \cdot 35 \times 10^8$ bzw. $1 \cdot 06 \times 10^8$.

Wie eingangs erwähnt wurde, haben König und Trendelenburg für Licht von verschiedener Wellenlänge einen Parallelismus zwischen den absorbierten Lichtenergien und den Dämmerungswerten nachgewiesen.

Auf der Grundlage der Planckschen Theorie können wir nun versuchen, die Absorption der Lichtenergie zu berechnen, welche durch die im Sehpurpur schwingenden Resonatoren hervorgerufen wird.

Bekanntlich verursacht das Licht im Sehpurpur eine photochemische Veränderung. Der Purpur verwandelt sich in einen farblosen Stoff. Bei schwachem Licht, wie es bei den Bestimmungen der Dämmerungswerte und der Absorption des Sehpurpurs angewandt wird, erfolgt diese Farbenveränderung langsam, kaum merkbar. Während der kurzen Zeit, welche die Bestimmung des Absorptions- oder Dämmerungswertes des Lichtes erfordert, darf der Sehpurpur vielleicht als unverändert betrachtet werden. Welche Bedeutung der bleichenden Wirkung des Lichtes hierbei zukommt und besonders, wie sich dieselbe zu der absorbierten Energie verhält, wobei sie auch vielleicht die erreichte große „Dämpfung“ erklären könnte, darauf will ich hier gar nicht eingehen, sondern beschränke mich nur auf die Betrachtung der Absorption des Lichtes.

Nach der Planckschen Theorie ist die von einem Resonator in der Zeiteinheit absorbierte Energie E:

$$E = \frac{3 \mathfrak{v} \lambda^2 C^2 \sin^2 \gamma}{64 \pi^4},$$

wo γ bestimmt wird durch die Gleichung:

$$\operatorname{ctg} \gamma = \frac{\pi \lambda (\lambda^2 - \lambda_0^2)}{\sigma \lambda_0^3}.[1]$$

Hier ist v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, C die Amplitude der Schwingungen des einwirkenden Lichtes, C^2 also dessen Intensität. Die übrigen Bezeichnungen sind dieselben wie früher.

Tabelle 3.

Absorbierte Energien und Dämmerungswerte (Gaslicht).

λ in $\mu\mu$	γ	C^2	$\lambda^2 \cdot C^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot 10^{-4}$	Dämmerungswert
589	21° 3′ 0″	2·923	0·285	0·125
569	28° 29′ 48″	2·033	0·327	0·272
550	40° 9′ 23″	1·360	0·373	0·394
535	54° 38′ 20″	1·000	0·415	0·415
520	74° 46′ 23″	0·720	0·395	0·346
507	85° 34′ 47″	0·519	0·289	0·256
495	180°—69° 11′ 58″	0·409	0·191	0·171
484	180°—57° 35′ 58″	0·334	0·122	0·114
473	180°—48° 48′ 50″	0·269	0·0743	0·0688
463	180°—42° 55′ 14″	0·222	0·0481	0·0393
455	180°—39° 9′ 37″	0·189	0·0340	0·0226

Tabelle 4.

Absorbierte Energien und Dämmerungswerte (Nernstlicht).

λ in $\mu\mu$	γ	C^2	$\lambda^2 \cdot C^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot 10^{-4}$	Dämmerungswert
589	21° 3′ 0″	2·321	0·238	0·0932
569	28° 29′ 48″	1·774	0·299	
557				0·324
550	40° 9′ 23″	1·312	0·378	
535	54° 38′ 20″	1·000	0·436	0·415
530				0·436
520	74° 46′ 23″	0·7381	0·425	
509				0·292
507	85° 34′ 47″	0·5534	0·324	
495	180°—69° 11′ 58″	0·4218	0·207	
491				0·145
484	180°—57° 35′ 58″	0·3212	0·123	
474				0·0713
473	180°—48° 48′ 50″	0·2393	0·0694	
463	180°—42° 55′ 14″	0·1820	0·0414	
459				0·0277
455	180°—39° 9′ 37″	0·1426	0·0269	
445				0·0110

[1] Nach Jellinek, *Physikalische Chemie der homogenen und heterogenen Gasreaktionen.* Leipzig 1913. S. 324.

Die im Sehpurpur absorbierte Lichtenergie, wie sie König und Trendelenburg berechnet haben, ist proportional der somit bestimmten, in der Zeiteinheit absorbierten Energie, denn während der kurzen Versuchszeit dürfte der Sehpurpur unverändert und seine Absorption die ganze Zeit hindurch gleich groß bleiben. Wir dürfen folglich erwarten, daß auch zwischen den hiermit nach der Planckschen Theorie berechneten Werten von E und den Dämmerungswerten ein Parallelismus besteht.

In Tabelle 3 erscheinen in der zweiten Kolumne die Werte von γ, wie sie mit Hilfe des σ des von Trendelenburg benutzten Sehpurpurs bestimmt worden sind. In der dritten Kolumne sind die relativen Intensitäten von Licht verschiedener Wellenlänge im Dispersionsspektrum des Gaslichtes angegeben. Hierbei ist zu bemerken, daß die Intensität des auf die Retina fallenden Lichtes oder die Energie C^2 natürlich auch von der Größe der Pupille des Auges abhängig ist.

Da bei der Bestimmung der Dämmerungswerte die Bildspalte des zu vergleichenden Lichtes eine Breite von nur 1·2 mm hatte und das beobachtende Auge sich in der unmittelbaren Nähe dieser Spalte befand, dürfte man annehmen können, daß der Pupillarrand keinenfalls Licht abgeblendet hat. Wir könnten also bei der Berechnung ohne weiteres die Werte von C^2 benutzen.

Wir wissen aber auch, daß die Größe der Pupille außer durch die Intensität des Lichtes auch durch dessen Wellenlänge bedingt ist. Abelsdorff[1] hat gezeigt, daß die sog. pupillomotorische Wirkung von Licht verschiedener Wellenlänge ganz parallel mit dem Helligkeitswert des Lichtes geht. Dies trifft sowohl in bezug auf die Helligkeits- als auf die Dämmerungswerte und die entsprechenden pupillomotorischen Wirkungen zu. Abelsdorff versteht unter pupillomotorischen Wirkungen oder Werten die inversen Werte derjenigen Lichtintensitäten (spektrophotometrisch bestimmt), die, in das Auge einfallend, eine gleich große Pupille verursachen. Andererseits sind die Dämmerungswerte inverse Werte von Lichtintensitäten (spektrophotometrisch bestimmt), welche eine gleich große Lichtempfindung hervorrufen.

Der von Abelsdorff nachgewiesene Parallelismus zwischen diesen Werten bedeutet also auch, daß die Pupille bei den den Dämmerungs-

---

[1] G. Abelsdorff, *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane.* 1900. Bd. XXII. S. 81.

werten entsprechenden Lichtintensitäten immer gleich groß ist, welches die Wellenlänge des Lichtes auch sei.

Wenn wir die von den Resonatoren des Sehpurpurs absorbierten Lichtenergien mit den Dämmerungswerten vergleichen wollen, können

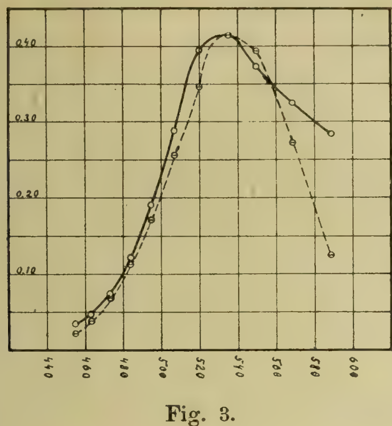


Fig. 3.

wir mithin jedenfalls direkt den der Energieverteilung des betreffenden Spektrums entsprechenden Wert als Wert von C^2 benutzen. Diese

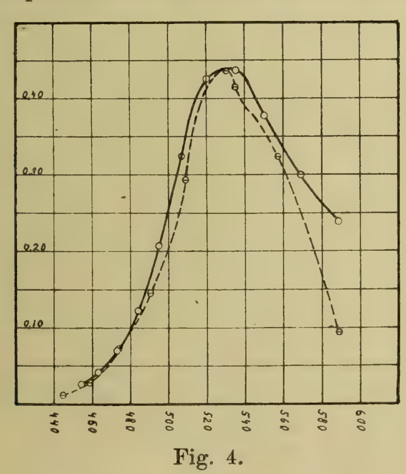


Fig. 4.

Werte sind aus der oben erwähnten Arbeit von Trendelenburg erhalten.

In der vierten Kolumne der Tabelle finden sich die mit den in der Zeiteinheit absorbierten Energien proportionalen Werte

$\lambda^2 \cdot C^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot 10^{-4}$; diese Werte sind in der Weise umgerechnet, daß ihr Maximalwert und der Maximalwert der in der folgenden, fünften, Kolumne stehenden Dämmerungswerte des Gaslichtspektrums gleich groß sind. Die Dämmerungswerte stammen gleichfalls aus der Veröffentlichung von Trendelenburg, Tabelle VIII; sie sind mit 10^{-4} multipliziert.

In Fig. 3 haben wir eine graphische Darstellung des Resultats. Die gestrichelt gezeichnete Kurve veranschaulicht die Abhängigkeit der Dämmerungswerte von der Wellenlänge, die zusammenhängende Kurve die Abhängigkeit der nach der Planckschen Theorie berechneten, in der Zeiteinheit absorbierten Energie. Die Kurven sind verhältnismäßig übereinstimmend, eine größere Abweichung besteht nur bei der größten angewandten Wellenlänge 589 $\mu\mu$.

In Tabelle 4 sind die bei Nernstlicht bestimmten Dämmerungswerte mit den nach Planck berechneten in der Zeiteinheit absorbierten Energien verglichen. Auch hier sind die Dämmerungswerte und die Energieverteilung des Nernstlichtspektrums aus der Arbeit von Trendelenburg erhalten.

In Fig. 4 findet sich die entsprechende graphische Darstellung. Die Übereinstimmung der Kurven ist verhältnismäßig gut. Eine größere Abweichung zeigt sich wieder bei der Wellenlänge 589 $\mu\mu$.

Wie die Extinktionskurven kann man also auch die Dämmerungswertkurven recht gut mit Hilfe der Resonatorentheorie der Lichtabsorption darstellen. Nach dieser Theorie wären folglich die Dämmerungswerte und überhaupt die Reizwerte der monochromatischen Gesichtsempfindung proportional der Lichtenergie, welche in der Zeiteinheit von den im Sehpurpur enthaltenen Resonatoren absorbiert wird. Wir können hinzufügen, daß der Reizwert, der eine Pupillarreaktion verursacht, auch wegen des von Abelsdorff nachgewiesenen Parallelismus zwischen den pupillomotorischen und den Dämmerungswerten, dieselbe Resonatorenergie sein würde.

Zur Kenntnis der Einwirkung von Chloroform und Äther auf den Kreislauf des Kaninchens.[1]

Von

Y. Airila.

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Helsingfors.)

Unter den zahlreichen experimentellen Untersuchungen über die Einwirkung von Chloroform und Äther auf den Organismus finden sich auch viele, welche sich auf den Kreislauf beziehen. Da die Anwendbarkeit der Inhalationsanästhetica zu großem Teil von ihrer mehr oder weniger starken Giftwirkung auf das Herz und die Gefäße abhängt, bietet daher die Feststellung ihres Einflusses auf die Zirkulation ein sehr großes Interesse dar.

Im Jahre 1869 wies Scheinesson[2] nach, daß sich die Gefäße des Kaninchenohres unter dem Einfluß des Chloroforms erweiterten. Die Ursache dieser Gefäßerweiterung ist danach von mehreren Autoren näher erörtert worden, und Knoll[3] ist in dieser Beziehung zu dem Resultat gekommen, daß sie in einer zentralen Lähmung der Gefäßnerven liegt.

Pick[4] konnte nachweisen, daß sich das Blut wegen der erschlaffenden Wirkung des Chloroforms auf den Gefäßtonus in den Gefäßen der Bauchhöhle sammelt. Erst bei höheren Gaben und in geringerem Grade ruft der Äther eine entsprechende Wirkung auf die Vasomotoren hervor.

---

[1] Der Redaktion am 15. März 1916 zugegangen.

[2] Scheinesson, *Arch. d. Heilkunde.* 1889. S. 172.

[3] Knoll, *Sitzungsberichte der Wiener Akademie.* Math.-naturw. Kl. 1878. Bd. LXXVIII (3).

[4] Pick, *Arch. f. exp. Pathol.* 1899. Bd. XLII. S. 335.

Schon vorher hatte Snow[1] bemerkt, daß Chloroformdämpfe durch direkte Einwirkung auf das Herz dasselbe zum Stillstand bringen. Später wies Scheinesson[2] den schwächenden Einfluß des eingeatmeten Chloroforms auf die Leistung des Herzens nach.

Diese Ergebnisse wurden durch zahlreiche wiederholte Untersuchungen bestätigt.

Unter diesen verdient die von Bock[3] in diesem Zusammenhang besonders erwähnt zu werden, weil die von ihm benutzte Methode besser als die übrigen früher angewandten die Einwirkung des Giftes auf die Herzarbeit demonstriert.

Bocks Methode bestand kurz darin, daß er die Aorta descendens ligierte und die ganze vom Herzen herausgetriebene Blutmenge durch die eine Carotis und die mit dieser verbundene V. jugularis wieder nach dem Herzen strömen ließ. Vom ganzen Kreislauf blieb also nur der kleine Kreislauf zurück.

Da die meisten Gifte nur eine sehr geringe Wirkung auf die Lungengefäße ausüben, müssen die dabei eintretenden Veränderungen des Blutdruckes zum allergrößten Teil von Veränderungen der Herzarbeit herrühren.

Mittels dieser Methode kam nun Bock zu dem Resultat, daß das Chloroform, solange es mit der eingeatmeten Luft dem Präparat zugeführt wurde, und noch eine längere Zeit danach die Herzarbeit stark erniedrigt, während der Äther dagegen nur eine kürzer dauernde, verhältnismäßig geringe Senkung des Blutdruckes hervorruft.

Am isolierten Froschherzen ist eine vergleichende Untersuchung dieser beiden Gifte von Dieballa[4], und am isolierten Säugetierherzen von Loeb[5] ausgeführt worden. Alle beide fanden, daß sich die tödlich wirkenden molekularen Konzentrationen für Chloroform und Äther sich wie 1 : 30 bis 35 zueinander verhalten.

Sherrington[6] hat unter Benutzung der Methode von Langendorff Beobachtungen über die Einwirkung der Chloroformkonzentration auf das isolierte Herz gemacht.

---

[1] Snow, *London journal of medicine.* 1852.
[2] Scheinesson, *Dissertation.* Dorpat 1868.
[3] Bock, *Arch. f. exp. Pathol.* 1898. Bd. XLI. S. 158.
[4] Dieballa, *Ebenda.* 1894. Bd. XXXIV. S. 137.
[5] Loeb, *Ebenda.* 1904. Bd. LI.
[6] Sherrington, *British medical journal.* 1903, 18. Juli.

Um ein klares Bild von dem Einfluß des Chloroforms und des Äthers auf den Kreislauf zu geben, sind diese Methoden dennoch nicht völlig genügend.

Der gewöhnliche Blutdruckversuch mit dem Quecksilbermanometer gibt uns allerdings eine ziemlich befriedigende Kenntnis von den Variationen des Blutdruckes. Da diese indessen immer sowohl von den Veränderungen der Herzleistung als von denen des Gefäßwiderstandes abhängig sind, kann die Kurve des Blutdruckes nicht ohne weiteres Aufschluß über den Anteil dieser beiden Variabeln bei dem endlichen Resultat geben.

Durch Versuche am isolierten Herzen werden allerdings die Resultate des einfachen Blutdruckversuches zu einem gewissen Grade vervollständigt. Bei derartigen Versuchen liegen wiederum viele Fehlerquellen vor, welche die Deutung des unmittelbaren Befundes in hohem Grade erschweren können. Auch läßt sich nicht von vornherein erwarten, daß ein mit Chloroform und Äther vergiftetes isoliertes Herz auf dieselbe Weise wie das Herz, das noch im Zusammenhang mit den Gefäßen, die ihrerseits auch der Einwirkung dieser Gifte unterliegen, reagieren soll.

Am intakten Kreislauf läßt sich nach der Methode von R. Tigerstedt die gleichzeitige Bestimmung der aus dem Herzen in der Zeiteinheit herausgetriebenen Blutmenge und des Blutdruckes durchführen, und also den Anteil der beiden Faktoren an der Veränderung des Kreislaufes feststellen. Auf Grund dessen habe ich mich dieser Methode bedient, um die Einwirkung des Chloroforms und des Äthers auf den Kreislauf des Kaninchens näher aufzuklären.

Die Versuche fanden an Kaninchen von 1500 bis 2300 g Körpergewicht statt.

Das Chloroform bzw. der Äther wurde in die Leitung für die künstliche Respiration in 60 cm Entfernung von der Trachea langsam eingespritzt. Dabei ging die Flüssigkeit allmählich in Gasform über und wurde mit der einzublasenden Luft gemischt. Ein großer Teil des Giftes ging indessen durch die seitliche Öffnung der Trachealkanüle direkt in die freie Luft fort.

Die von mir erzielten Resultate sind, um Raum zu ersparen, graphisch dargestellt worden. In allen Diagrammen bezeichnet die unterbrochene Linie das Stromvolumen pro Minute und kg Körpergewicht, die vollständig ausgezogene, obere, dicke Linie den Blutdruck peripher von der Stromuhr und die vollständig ausgezogene,

untere, etwas dünnere Linie die Pulsfrequenz pro 10 Sekunden. Als Periode wird die Dauer der Füllung der Stromuhr, d. h. die Zeit, während welcher 10·4 ccm Blut aus dem Herzen in die Aorta getrieben wird, bezeichnet.

Da die Präparation bei Äthernarkose stattfand und diese natürlich auf die Versuchsresultate störend einwirken mußte, stellte ich immer nach Ende der Präparation die Narkose während 10 bis 15 Minuten ab, bevor der eigentliche Versuch begann. Während dieser Zeit war die im Blute vorhandene Menge von Chloroform oder Äther etwa auf die Hälfte herabgesunken (H. Meyer).[1]

I. Äther.

Beim Versuch VI (Fig. 1) ist das Stromvolumen vor der ersten Einspritzung von Äther (0·25 ccm, Per. 11) 53·5 ccm, sinkt dann schnell auf 50 ccm (Per. 13) und bleibt auf diesem Wert bis zur Periode 28 ziemlich unverändert stehen. Gleichzeitig nimmt der arterielle Druck, der vor der Einspritzung 81 bis 83 mm betrug, allmählich auf 73 mm (Per. 18) ab, um dann (Per. 25) wieder anzusteigen. Eine weitere Steigerung des Druckes erscheint bei der Periode 30, wo zu gleicher Zeit das Stromvolumen etwas abnimmt.

Diese Äthergabe rief also eine Abnahme sowohl des Stromvolumens als des Blutdruckes hervor.

Bei Periode 18 zeigt die Druckkurve eine nicht unbedeutende Abnahme, während das Stromvolumen dabei ziemlich unverändert bleibt; hier muß also eine Gefäßerweiterung aufgetreten sein.

Andererseits kommt bei Periode 32 eine Drucksteigerung (auf 84 mm) nebst einer Abnahme des Stromvolumens (auf 47·5 ccm) zum Vorschein, was eine Gefäßverengerung ankündigt.

Die Pulsfrequenz sinkt unmittelbar nach der Einspritzung von 28 auf 26, erhebt sich aber binnen kurzem auf ein Maximum von 34 (Per. 16 bis 20). Danach nimmt sie wieder ab und bleibt von Periode 24 an auf 31 stehen.

Die zweite Einspritzung (0·5 ccm) findet während Periode 35 statt. Als Folge derselben sinkt das Stromvolumen von 47·5 ccm auf 43 ccm (Per. 40) herab, nimmt wieder auf 47 ccm zu (Per. 43) und sinkt dann nur sehr langsam weiter herab.

[1] H. Meyer und Gottlieb, *Die experimentelle Pharmakologie.* 1914. S. 70.

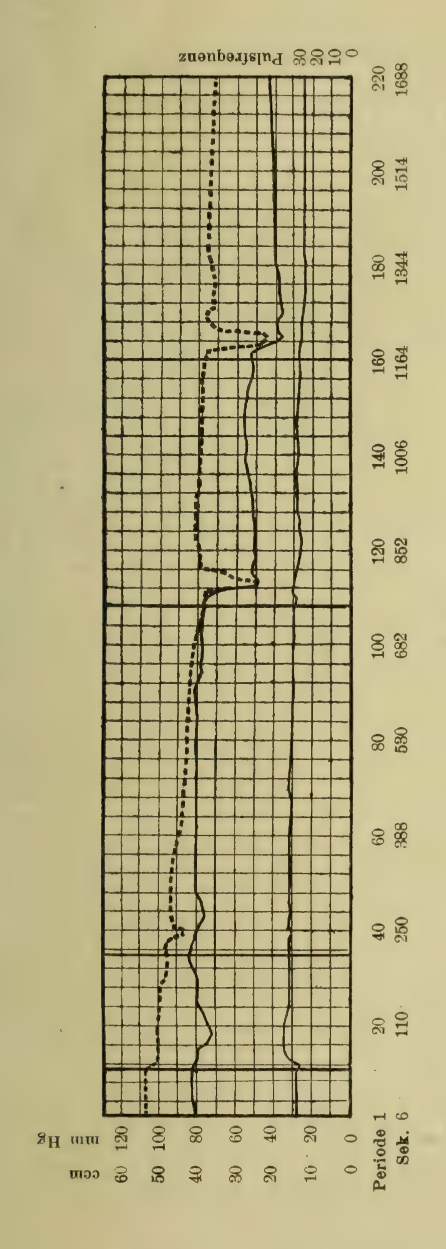


Fig. 1.

Versuch VI. Kaninchen 2000 g. Einspritzungen in die Luftleitung: Periode 11 (0.25 ccm Äther), Periode 35 (0.5 ccm Äther), Periode 108 (1.0 ccm Äther), Periode 160 (1.0 ccm Äther).

Der Druck sinkt sogleich nach der Einspritzung von 84 mm (Per. 35) auf 75 mm (Per. 43) herab, steigt dann auf 80 mm (Per. 48) und bleibt auf dieser Höhe während zweiundvierzig Perioden vollkommen konstant.

Hier hat das Herz also durch eine flüchtige Abnahme des herausgetriebenen Stromvolumens reagiert. Die Gefäße gewinnen ihren Tonus bald wieder, und der Druck bleibt eine längere Zeit hindurch vollkommen konstant, obgleich das Stromvolumen stetig, wenn auch in einem sehr geringen Grade, abnimmt. Dies deutet an, daß der Gefäßtonus unter der Einwirkung des Äthers etwas zunimmt.

Die Pulsfrequenz erleidet bei dieser Einspritzung nur ganz geringe Veränderungen.

Eine dritte Einspritzung (1·0 ccm) findet während Periode 108 statt. Das Stromvolumen sinkt plötzlich (Per. 111) im Laufe von drei Perioden von 38 auf 25 ccm (Per. 113) herab, um dann ebenso schnell auf 39 ccm (Per. 116) wieder anzusteigen. Während der vierzig folgenden Perioden hält es sich dann etwa konstant.

Gleichzeitig sinkt der Druck von 76 mm (Per. 109) auf 49 mm (Per. 113) herab und zeigt während der folgenden fünfunddreißig Perioden nur eine unbedeutende Neigung zuzunehmen, indem der Anstieg hier nur 9 mm Hg beträgt.

Die Pulsfrequenz bietet nur geringe Schwankungen dar.

Während Periode 160 wird wiederum 1 ccm Äther injiziert (vierte Injektion). Die hierbei entstandenen Veränderungen des Stromvolumens stimmen mit den soeben besprochenen sehr nahe überein: nach einer flüchtigen, starken Abnahme erreicht dasselbe nach etwa acht Perioden seinen früheren Wert.

Dagegen bleibt der Blutdruck eine lange Zeit um etwa 13 mm Hg niedriger als vor der Injektion (53 mm Hg) und nimmt dann äußerst langsam zu, ohne daß er dennoch während 8 Minuten einen höheren Wert als 44 mm erreicht.

Bei den zwei letzten Einspritzungen von je 1 ccm hält sich das Stromvolumen, abgesehen von der flüchtigen, starken Abnahme sofort nach der Einspritzung des Äthers, die ganze Zeit hindurch fast unverändert. Der Tonus der Gefäße scheint also durch diese Äthergaben stark gelitten zu haben und nur sehr langsam restituiert worden zu sein.

Beim Versuch XII (Fig. 2) wurde 0·6 ccm Äther eingespritzt (Per. 9). Das Stromvolumen, das schon vorher eine starke Neigung zur Abnahme (von 45 auf 39 ccm) gezeigt hatte, sinkt nun plötzlich während Per. 11 von 39 auf 32 ccm herab und vermindert sich während der folgenden vierzig Perioden noch um 8 ccm, also auf 24 ccm.

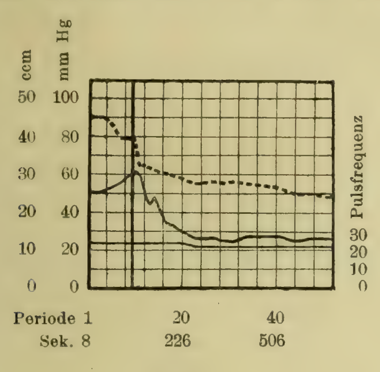


Fig. 2.

Versuch XII. Kaninchen 1700 g. Einspritzung von 0.6 ccm Äther in die Luftleitung (Per. 9).

Gleichzeitig sinkt der Blutdruck, der vor der Ätherinjektion von 50 auf 60 mm Hg gestiegen war, etwas weniger steil als das Stromvolumen von 60 auf 25 mm Hg (Per. 28) herab und hält sich dann, trotz einer geringen stetigen Abnahme des Stromvolumens, ziemlich unverändert.

Bei diesem Versuch nimmt das Stromvolumen ab, gleichzeitig zeigt aber der Blutdruck eine verhältnismäßig noch größere Senkung, die unzweifelhaft auf eine Tonusabnahme hindeutet. Hier scheint also eine ziemlich kleine Äthergabe sowohl das Herz als die Gefäße geschädigt zu haben.

Während des ganzen Versuches ist die Pulsfrequenz fast konstant; sie sinkt nach Periode 20 von 24 auf 22.

Beim Versuch IV (Fig. 3) wurde bei der ersten Einspritzung 0·5 ccm Äther benutzt.

Das Stromvolumen, welches vorher 36·5 bis 37·5 ccm gewesen war, nimmt schnell ab und beträgt in der Periode 14 nur 28 ccm. Danach folgt eine geringe, flüchtige Steigerung, nach welcher das Volumen auf 28 ccm (Per. 21) stehen bleibt.

Der Blutdruck steigt in unmittelbarem Anschluß an die Injektion von 73 auf 78 mm Hg an, zeigt dann eine flüchtige Senkung (Per. 12 und 13), steigt aufs neue auf 78 mm (Per. 14), wonach er definitiv auf 52 mm (Per. 22) herabsinkt, um später innerhalb zwanzig Perioden langsam um 6 mm Hg anzusteigen.

Die Pulsfrequenz steigt nach der Einspritzung von 23 auf 26, sinkt aber nach Periode 27 auf 24 herab.

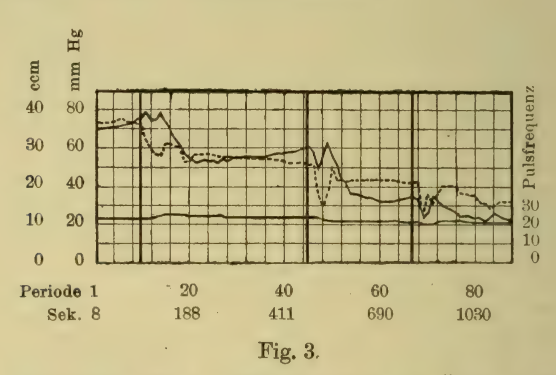


Fig. 3.

Versuch IV. Kaninchen 2050 g. Einspritzungen von Äther in die Luftleitung: Periode 10 (0.5 ccm), Periode 45 (1.0 ccm), Periode 67 (1.5 ccm).

Bei diesem Versuch hat der Äther zuerst eine Gefäßkontraktion hervorgerufen, indem der Druck unmittelbar nach der Einspritzung, trotz der starken Abnahme des Stromvolumens, deutlich ansteigt. Später nehmen sowohl Druck als Volumen ab.

Bei der zweiten Einspritzung (1·0 ccm; Per. 45) erscheint wieder eine Abnahme des Stromvolumens und eine anfängliche Zunahme des Blutdruckes. Auch hier ist die Druckzunahme offenbar von einem erhöhten Gefäßtonus abhängig und die Kurven des Druckes und des Volumens bilden fast Spiegelbilder voneinander. Später tritt hier noch deutlicher als nach der ersten Injektion die Abnahme des Blutdruckes zum Vorschein, wogegen das Stromvolumen verhältnismäßig wenig von seinem früheren Stand herabgesunken ist.

Die Pulsfrequenz nimmt von 24 auf 22 ab.

Auch die dritte Injektion (1·5 ccm; Per. 67) bewirkt eine Abnahme des Stromvolumens von 21 ccm (Per. 68) auf 13 ccm (Per. 69), wonach das Volumen allmählich auf 20 ccm (Per. 73) ansteigt und später auf 15 ccm (Per. 84) herabsinkt.

Gleichzeitig mit diesen Veränderungen erscheint eine Drucksenkung von 34 mm (Per. 67) auf 23 mm (Per. 69) und dann eine Zunahme, bis der Druck vor der Einspritzung wieder erreicht ist (Per. 71). Schließlich folgt eine neue Druckabnahme auf 23 bis 26 mm Hg.

Auch bei dieser Äthergabe kann eine deutliche, flüchtige Gefäßkontraktion während Per. 71 nachgewiesen werden, indem der Druck hier, trotz einer Abnahme des Stromvolumens um 25 Prozent, gleichgroß wie vor der Einspritzung ist.

Versuch X (Fig. 4) wurde an einem sehr kräftigen Tiere gemacht.

Nach der ersten Einspritzung (1·5 ccm; Per. 6) sinkt das Stromvolumen von 43 auf 37 ccm (Per. 11) und geht dann auf seinen ursprünglichen Wert schnell wieder zurück (Per. 12). Während der Per. 16 tritt eine unbedeutende Abnahme auf, und das Stromvolumen ist von der Periode 20 an während 30 Perioden gleich 40 ccm; bei der 50. Periode fängt eine Zunahme an, so daß das Volumen schließlich etwas größer wird (46 ccm) als vor der Ätherinjektion.

Der Blutdruck sinkt sogleich nach der Einspritzung von 69 mm (Per. 6) auf 57 mm (Per. 9) herab, steigt dann schnell auf 79 mm (Per. 11) an und sinkt allmählich wieder auf ein Minimum von 42 mm (Per. 42). Danach fängt ein neuer Anstieg an und der Druck erreicht endlich eine Höhe von 58 mm Hg.

Im Anfang tritt auch in diesem Versuch die gefäßkontrahierende Wirkung des Äthers hervor: das Stromvolumen nimmt ab und trotzdem steigt der Blutdruck an. Später, wenn diese erste Wirkung abgeklungen ist, bleibt das Stromvolumen unvermindert, während der Druck auf einem ziemlich niedrigen Niveau bleibt; hier ist also der Gefäßtonus sehr klein.

Die Pulsfrequenz erhob sich zur Zeit der stärksten Ätherwirkung von 31 auf 34.

Eine zweite Injektion von Äther (2·5 ccm) fand während Periode 100 statt. Unter dem Einfluß dieser starken Äthergabe nimmt das Stromvolumen (Per. 106) rasch von 46 ccm auf 20 ccm ab und steigt dann schnell auf 51 ccm (Per. 110) an. Es vermindert sich nachher sehr langsam bis auf ein Minimum von 39 ccm (Per. 142), nimmt nach einigen Perioden wieder etwas zu und bleibt schließlich von der Periode 155 an auf 40 ccm stehen.

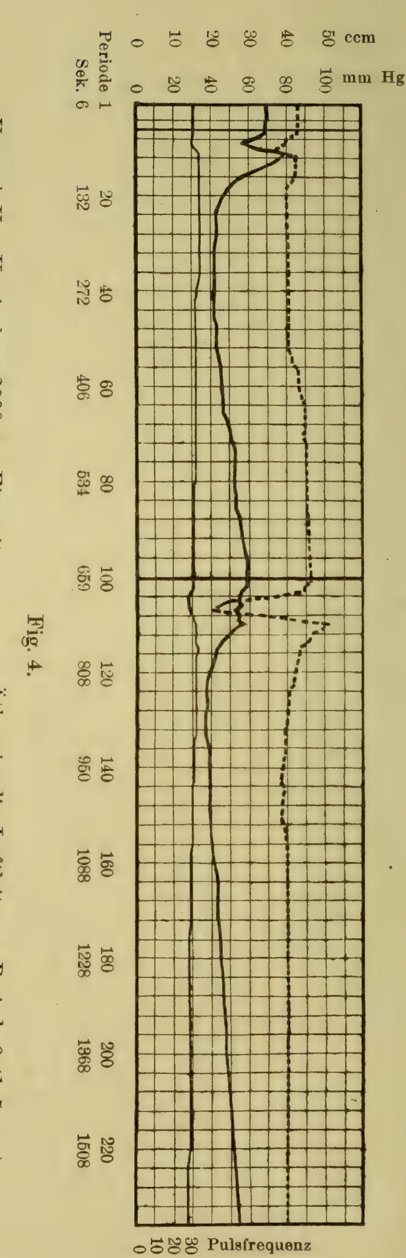


Fig. 4.

Versuch X. Kaninchen 2000 g. Einspritzungen von Äther in die Luftleitung: Periode 6 (1.5 ccm), Periode 100 (2.5 ccm).

Sogleich nach der Einspritzung hält sich der Blutdruck bis Periode 110 etwa auf seinem früheren Niveau, obgleich das Stromvolumen gleichzeitig stark herabsinkt. Später sinkt der Blutdruck allmählich auf 38 mm (Per. 130), um danach langsam auf 54 mm (Per. 235) anzusteigen.

Unmittelbar nach der Äthereinspritzung erscheint also auch hier die Gefäßverengerung, dank welcher der Blutdruck ziemlich unverändert bleibt, obgleich das Stromvolumen mit 60 Prozent reduziert wird. Diese Wirkung des Äthers dauert etwa eine Minute, und dann erscheint die entgegengesetzte Wirkung, indem nun der Gefäßtonus deutlich herabgesetzt ist, während das Stromvolumen nur in sehr geringem Grade abgenommen hat.

Zur Zeit der starken Gefäßkontraktion ist die Pulsfrequenz etwas vermindert. Sie erhöht sich aber bald wieder, von dem ursprünglichen Wert 31 auf 32, und sinkt gegen das Ende des Versuches auf 28.

Versuch XIV (Fig. 5) wurde an einem alten, arteriosklerotischen Tier gemacht.

Nach der ersten Einspritzung (0·9 ccm Äther, Periode 10) sank das Stromvolumen innerhalb zwei Perioden von 34 bis 38 ccm auf 5 ccm (Per. 13) herab, erhob sich dann schnell auf 27 ccm (Per. 17) und blieb auf dieser Höhe etwa vierzig Perioden stehen.

Auch der Blutdruck sank nach der Äthereinspritzung plötzlich von 86 bis 90 mm auf 30 mm (Per. 13) herab, stieg dann zuerst schnell, später aber langsam an und erreichte sein Maximum während Periode 50 mit einem Druck von 80 mm.

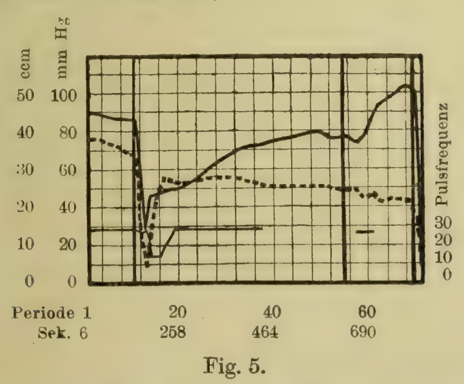


Fig. 5.

Versuch XIV. Kaninchen 2300 g. Einspritzungen in die Luftleitung: Periode 10 (0.9 ccm Äther), Periode 69 (0.15 ccm Chloroform). Während Per. 55 bekam das Tier wegen seiner unregelmäßigen Herztätigkeit 1 Tropfen Tinct. Strophanti.

Unter dem ersten Einfluß vom Äther sank die Pulsfrequenz von 28 auf 14 (Per. 14 bis 16) herab, ging aber bald auf 28 (Per. 19) zurück. Nach Periode 38 erscheint eine starke Unregelmäßigkeit, die möglicherweise mit der Arteriosklerose des Tieres zusammenhängt.

Bei diesem Versuch ließ sich keine primäre Gefäßkontraktion nach der Äthereinspritzung nachweisen. Nach der ersten flüchtigen Senkung des Stromvolumens blieb dasselbe an einem etwas niedrigen Wert als dem ursprünglichen stehen, wogegen der Gefäßtonus allmählich zunahm. Während Periode 50 hat der Blutdruck fast die gleiche Höhe wie vor der Äthereinspritzung, obgleich das Stromvolumen immer noch stark vermindert ist.

Beim Versuch XV (Fig. 6) wurde bei der ersten Einspritzung (Per. 8) die große Menge von 2·8 ccm Äther in die Luftleitung eingespritzt.

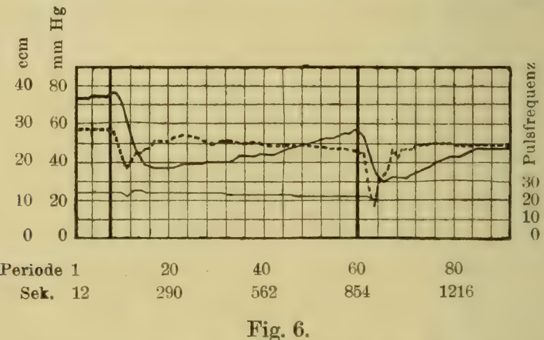


Fig. 6.

Versuch XV. Kaninchen 1600 g. Einspritzungen in die Luftleitung: Periode 8 (2.8 ccm Äther), Periode 60 (0.3 ccm Chloroform). Bei den Einspritzungen schwillt das rechte Herz stark an.

Das Stromvolumen nahm von 28 ccm schnell auf 18·5 ccm (Per. 11) ab, stieg dann allmählich auf 26 ccm an (Per. 21) und blieb etwa auf dieser Höhe stehen.

Der Blutdruck sank nach einem geringen und flüchtigen Anstieg um 2 mm von 74 mm auf 37 mm (Per. 17). Während der nächstfolgenden vierzig Perioden erhöht er sich allmählich auf 56 mm.

Zur Zeit der stärksten Ätherwirkung sank die Pulsfrequenz etwas herab, zeigte dann eine vorübergehende Steigerung und ging schließlich auf den früheren Wert zurück. Gegen das Ende des Versuches nimmt die Pulsfrequenz ganz allmählich ab.

Bei dieser starken Äthergabe kann noch eine, wenn auch sehr geringe und flüchtige Gefäßkontraktion gespürt werden (Per. 9). Nach derselben vermindert sich der Gefäßtonus stark, wogegen das Stromvolumen fast seinen früheren Wert erreicht.

Als Beispiel von der Wirkung noch größerer Äthermengen auf den Kreislauf sei Versuch XX (Fig. 7) zitiert.

Während Periode 186 werden hier 5·8 ccm Äther eingespritzt, wobei Druck und Stromvolumen, ohne irgendwelche vorhergehende Gefäßkontraktion, schnell auf Null herabsinken. Das Herz fühlt sich teigig an, dessen rhythmische Kontraktionen aufhören und es fängt an zu flimmern. Durch zahlreiche Versuche hat es sich herausgestellt, daß der Kreislauf auf diesem Stadium ohne äußere Hilfe nicht mehr wiederhergestellt wird. Wenn das Herz dagegen während einer ganz kurzen Zeit (hier 50 Sekunden) direkt massiert wird, treten geordnete Herzkontraktionen bald wieder auf und die Gefäße bekommen ihren Tonus wieder, was auch in diesem Versuche stattfand. Der Versuch illustriert also auch die Bedeutung der Massage bei dem wegen starker Äthervergiftung aufgehobenen Kreislauf.

II. Chloroform.

Versuch XX (Fig. 7) zeigt die Einwirkung des Chloroforms auf den Kreislauf.

Nach der ersten Chloroformeinspritzung (0·09 ccm, Per. 15) nimmt das Stromvolumen, das im Anfang des Versuches 54 ccm betrug, ganz allmählich auf 52 ccm ab (Per. 30).

Der Blutdruck sinkt wesentlich stärker herab, was auf eine Abnahme des Gefäßtonus hindeutet.

Während Periode 37 wird die zweite Einspritzung (0·17 ccm Chloroform) gemacht.

Hierbei sinkt das Stromvolumen plötzlich von 51 ccm (Per. 37) auf 27 ccm (Per. 40) herab. Binnen kurzem geht diese Abnahme indessen vorüber und schon während Periode 42 nähert sich das Stromvolumen seinem früheren Wert. Später nimmt derselbe während vierzig Perioden ganz langsam um etwa 10 ccm ab.

Sogleich nach der Einspritzung zeigt der Blutdruck eine kleine Senkung von 91 mm (Per. 37) auf 83 mm (Per. 40), wonach derselbe sich plötzlich auf 98 mm erhöht (Per. 41). Dann tritt eine kleine Druck-

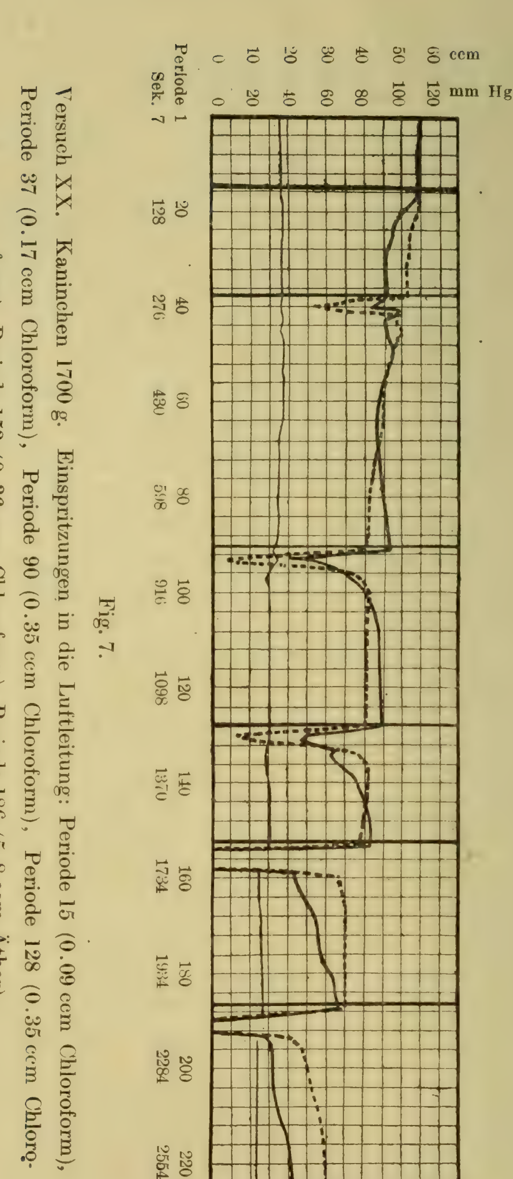


Fig. 7.

Versuch XX. Kaninchen 1700 g. Einspritzungen in die Luftleitung: Periode 15 (0.09 ccm Chloroform), Periode 37 (0.17 ccm Chloroform), Periode 90 (0.35 ccm Chloroform), Periode 128 (0.35 ccm Chloroform), Periode 153 (0.36 ccm Chloroform), Periode 186 (5.8 ccm Äther).

abnahme auf und der Druck bleibt etwa auf demselben Niveau wie vor der Injektion stehen.

Auf der Höhe der Chloroformwirkung ist die Pulsfrequenz unbedeutend größer als vorher — von 26 auf 27 — und sinkt dann auf 24.

In diesem Falle hat das Chloroform anfangs eine flüchtige Zunahme des Gefäßtonus verursacht. Auch am Ende des Versuches ist der Tonus etwas gesteigert, wie daraus folgt, daß der Druck, trotz der Abnahme des Stromvolumens, gesteigert ist.

Während Periode 90 findet eine dritte Einspritzung von Chloroform, diesmal in einer ziemlich großen Gabe (0·35 ccm) statt.

Das Stromvolumen sinkt nun von 40 ccm (Per. 90) auf 5 ccm (Per. 93) herab, um danach im Laufe von sieben Perioden wieder auf 41 ccm (Per. 100) anzusteigen und danach sich unverändert zu erhalten.

Der Blutdruck sinkt von 93 mm (Per. 91) steil auf 40 mm Hg (Per. 93) herab. Während der danach folgenden 16 Perioden nähert er sich dann seinem früheren Wert (88 mm während Per. 108).

Sogleich nach der Injektion sinkt die Pulsfrequenz von 34 auf 32 (Per. 91), dann folgten eine Steigerung auf 34 (Per. 94) sowie eine länger dauernde Senkung auf 28 (Per. 97). Später bleibt die Pulsfrequenz konstant 30 in 10 Sekunden.

Bei dieser Chloroformgabe konnte keinerlei primäre Gefäßwirkung nachgewiesen werden. Auf das Herz schien das Chloroform eine lähmende Wirkung auszuüben.

Bei der vierten Einspritzung kam die gleiche Chloroformgabe (0·35 ccm) zur Verwendung. Die Wirkungen dieser Einspritzung stimmen mit denen der vorgehenden vollständig überein. Nur zeigt die Kurve des Blutdruckes bei ihrem Anstieg nach dem starken Druckfall eine kleine Diskontinuität.

Die fünfte Einspritzung (Per. 153) geschah mit einer unbedeutend größeren Menge Chloroform (0·36 ccm).

Hierbei sanken Druck und Stromvolumen sofort auf Null herab, das Herz wurde teigig, seine koordinierten Kontraktionen hörten auf und es begann etwas zu flimmern. Nach ein paar Minuten schien sogar das Flimmern aufzuhören. Durch eine etwa 80 Sekunden lang dauernde Massage gelang es wiederum, die normale Herztätigkeit wieder zu erwecken und den Kreislauf zu restituieren. Dabei schien das Herz sich etwas schneller als die Gefäße zu erholen, denn der Druck stieg auch nachdem das Sekundenvolumen konstant geworden war, immer noch weiter an.

Beim Versuch XXVI (Fig. 8) wurde während der ersten Injektion (Per. 14) 0·1 ccm Chloroform eingespritzt.

Hierbei nahm das Stromvolumen von 53 ccm (Per. 14) auf 28 ccm (Per. 16) ab, stieg dann schnell auf 49 ccm (Per. 20) und blieb mit einer gewissen Neigung zu weiterer Zunahme etwa auf dieser Höhe stehen.

Der Blutdruck, der vor der Einspritzung 110 mm betrug, sank auf 78 mm (Per. 17) und erhob sich danach allmählich auf 90 mm.

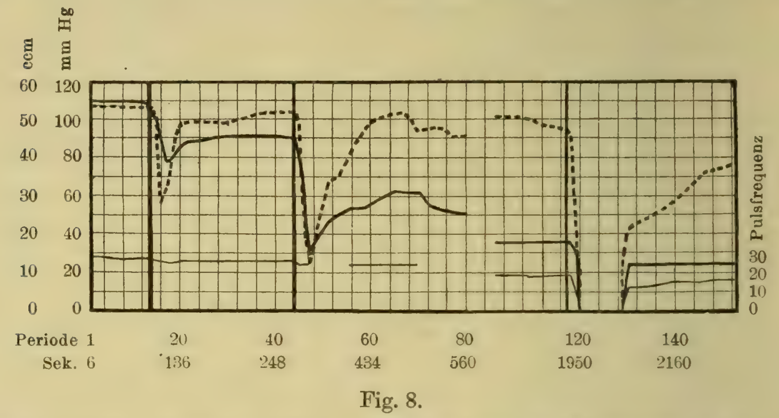


Fig. 8.

Versuch XXVI. Kaninchen 2000 g. Einspritzungen von Chloroform in die Luftleitung: Periode 14 (0.1 ccm), Periode 44 (0.2 ccm), Periode 117 (0.5 ccm). Zwischen den Perioden 80 und 101 eine Zeit von etwa 20 Minuten, während welcher die Herztätigkeit allmählich regelmäßig wird.

Die Pulsfrequenz war fast unverändert und zeigte nur während der stärksten Chloroformwirkung eine kleine Abnahme.

In diesem Falle hat das Chloroform eine Abnahme des Gefäßtonus und eine verhältnismäßig geringere Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Herzens hervorgerufen.

Während Periode 44 wird eine zweite Chloroformeinspritzung gemacht (0·2 ccm). Bei dieser größeren Gabe nimmt das Stromvolumen rasch von 52 ccm (Per. 44) auf 12 ccm (Per. 47) ab, um dann ziemlich schnell auf ein Maximum von 52 ccm (Per. 67) anzusteigen. Dann nimmt das Volumen wieder langsam ein wenig ab.

Der Blutdruck, der während Periode 44 90 mm betragen hatte, sinkt innerhalb drei Perioden auf 30 mm herab, und steigt dann verhältnismäßig langsam in die Höhe, indessen ohne bei weitem seinen früheren Wert zu erreichen, denn das Maximum ist nun nur 62 mm Hg.

Die Pulsfrequenz ist teilweise stark unregelmäßig.

Hier tritt die starke hemmende Einwirkung des Chloroforms auf den Gefäßtonus deutlich hervor. Dagegen ist die nach der ersten Abnahme auftretende, dauernde Veränderung des Stromvolumens nur ganz gering.

Etwa 20 Minuten später wurde (Per. 117) eine vierte Injektion, diesmal von 0·5 ccm Chloroform gemacht.

Innerhalb zwei Perioden sinken Druck und Volumen auf Null herab. Die geordneten Herzkontraktionen werden von Flimmern ersetzt, und bald hört auch das Flimmern auf. Durch Massage während einer Minute kommt auch hier die normale Herztätigkeit zurück. Dabei zeigt sich wiederum die lähmende Wirkung des Chloroforms auf die Gefäße sehr deutlich, denn obgleich der Versuch noch eine längere Zeit hindurch fortgesetzt wird, kann keinerlei Drucksteigerung gespürt werden, und dennoch nimmt das Stromvolumen schnell zu und erreicht sogar einen ziemlich hohen Wert.

Im Versuch XIV (Fig. 5) wurde während Periode 71 0·15 ccm Chloroform eingespritzt. Trotz dieser geringen Gabe starb das Tier unmittelbar, was wahrscheinlich auf die Arteriosklerose des Tieres zu beziehen ist (vgl. oben S. 251).

Im Versuch X (Fig. 9) wurde während Periode 244 0·25 ccm Chloroform eingespritzt.

Das Stromvolumen nahm schnell von 40 ccm (Per. 245) auf 9 ccm (Per. 249) ab, stieg dann auf 38 ccm (Per. 253) an und blieb auf dieser Höhe ziemlich konstant.

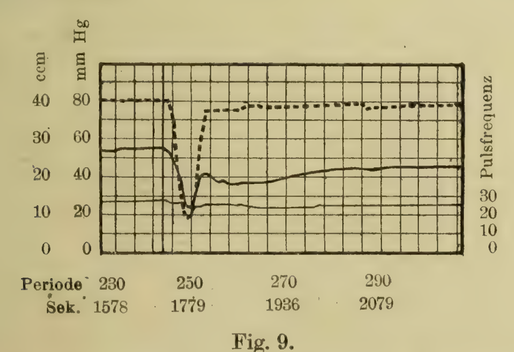


Fig. 9.

Versuch X. Kaninchen 2000 g. Einspritzung von 0.25 ccm Chloroform in die Luftleitung während Periode 244.

Der Blutdruck sank von 55 mm (Per. 245) auf 24 mm (Per. 249) herab und stieg dann auf 42 mm (Per. 253) an. Nach einer vorübergehenden Senkung um einige Millimeter folgte eine langsame Zunahme auf 45 mm (Per. 300). Die ganze Zeit hindurch war der Druck jedenfalls wesentlich niedriger als vor der Einspritzung.

Die Pulsfrequenz nahm unter dem Einfluß des Chloroforms ganz wenig ab.

In diesem Versuch zeigte das Stromvolumen eine ziemlich flüchtige Abnahme, wogegen der Gefäßtonus für eine lange Zeit herabgesetzt war.

Im Versuch XV (Fig. 6) wurde 0·3 ccm Chloroform während Periode 60 in die Luftleitung eingespritzt.

Das Stromvolumen nahm hierbei von 22 ccm (Per. 60) auf 9 ccm (Per. 63) ab. Dann folgte eine langsame Zunahme auf 25 ccm (Per. 72), wonach das Stromvolumen konstant blieb.

Der Blutdruck sank von 56 mm (Per. 60) auf 30 mm (Per. 65) herab; dieser Senkung folgte eine langsame Steigerung auf 48 mm (Per. 85).

Die Pulsfrequenz verminderte sich von 22 auf 20.

Bei diesem Versuch übt das Chloroform offenbar eine vorübergehende hemmende Wirkung auf die Leistungsfähigkeit des Herzens aus. Nach Aufhören desselben ist das Stromvolumen sogar erhöht. Dagegen scheint der Gefäßtonus in ziemlich hohem Grade herabgesunken zu sein, denn der Blutdruck erreicht seine ursprüngliche Höhe nicht mehr.

Im Versuch VI (Fig. 10) wurde während Periode 254 0·25 ccm Chloroform in die Luftleitung eingespritzt. Das Stromvolumen sinkt rasch auf Null herab (Per. 257) und das Herz hört auf zu schlagen.

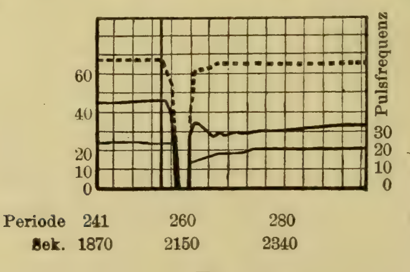


Fig. 10.

Versuch VI. Kaninchen 2000 g. Einspritzung von 0.25 ccm Chloroform in die Luftleitung (Per. 254).

Auch der Druck sinkt auf Null herab.

Nach einer halben Minute wird Herzmassage eingeleitet und 30 Sekunden lang fortgesetzt. Druck und Volumen steigen bald an und zwar ist dieses schon während Periode 267 etwa ebensogroß wie vor der Chloroformeinspritzung. Dagegen ist der Druck um etwa 25 Proz. kleiner als vor der Einspritzung, was zeigt, daß der Gefäßtonus immer noch vermindert ist.

III. Der Lungenkreislauf.

Bei mehreren Versuchen, insbesondere wenn die Äther- oder Chloroformgabe ziemlich groß gewesen ist, schwoll das rechte Herz oder das ganze Herz beträchtlich an, und man konnte daraus möglicherweise schließen wollen, daß dies von einem vermehrten Widerstand in den Lungengefäßen herrührte.

Um diese Frage näher aufzuklären, registrierte ich mittels zwei Hg-Manometer gleichzeitig den Druck in der A. pulmonalis und der Aorta. Erstere wurde in der von Mellin[1] beschriebenen Weise bestimmt.

Fig. 11 stellt einen solchen Versuch dar (Versuch XXVIII).

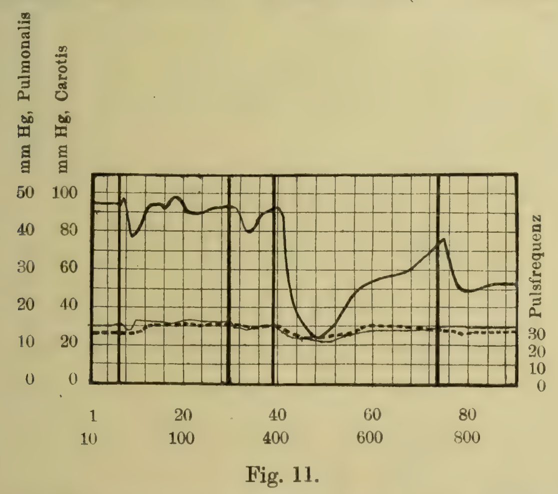


Fig. 11.

Versuch XXVIII. Kaninchen 2000 g. Einspritzungen in die Luftleitung: Periode 7 (1.5 ccm Äther), Periode 29 (0.25 ccm Chloroform), Periode 39 (0.75 ccm Chloroform), Periode 73 (5 ccm Äther).

[1] Mellin, *Dies Archiv.* 1903. Bd. XV. S. 151.

Die obere dicke Linie bedeutet den Druck in der Aorta, die unterbrochene Linie den Druck in der A. pulmonalis und die dünne ausgezogene Linie die Pulsfrequenz. Als Periode bezeichne ich die Zeit von 10 Sekunden.

Während Periode 7 wird 1·5 ccm Äther in die Luftleitung eingespritzt. Der Blutdruck sinkt in der Aorta herab, steigt in der Lungenarterie mit 2 mm, d. h. etwa 16 Proz.

Bei den beiden folgenden Einspritzungen von 0·25 bzw. 0·75 ccm Chloroform erscheint keinerlei Zunahme des Pulmonalisdruckes, im Gegenteil sinkt der Druck nach der zweiten Chloroformgabe um 2 mm Hg herab.

Während Periode 73 werden noch 5 ccm Äther in die Luftleitung eingespritzt. Dabei sinkt der Druck in der Lungenarterie um 1 mm.

Bei den übrigen hierher gehörigen Versuchen habe ich in der Lungenarterie nie eine Drucksteigerung, öfters aber eine Drucksenkung beobachtet.

Im allgemeinen dürfte man also sagen können, daß das Herz bei der Äther- und Chloroformnarkose in der Regel nicht wegen eines vermehrten Widerstandes im Lungenkreislauf, sondern infolge der schwächenden Wirkung dieser Substanzen auf das Herz anschwillt.

In einzelnen Fällen, wie im soeben besprochenen Versuch XXVIII. kann allerdings ein vermehrter Widerstand in den Lungengefäßen beim Entstehen der akuten Erweiterung des rechten Herzens beteiligt sein; nach meinen (insgesamt 12) Versuchen dürfte dies aber nur in Ausnahmefällen stattfinden.

Die Drucksteigerung im großen Kreislaufe, die in unmittelbarem Anschluß an die Ätherinhalation erscheint, scheint an und für sich gar zu unbedeutend zu sein, um irgendwelche Herzerweiterung hervorrufen zu können.

IV. Erörterung der Versuchsresultate.

Die von mir erzielten Resultate können allerdings nicht zu einem genaueren quantitativen Vergleich zwischen der Einwirkung des Äthers und des Chloroforms auf den Kreislauf benutzt werden, da bei meinen Versuchen unbekannte Mengen dieser Stoffe in die freie Luft übergingen, und die Anaesthetica außerdem im allgemeinen stark individuell wirken.

Als ein allgemeines Ergebnis dürfte indessen hervorgehen, daß der Äther im Anfang seiner Wirkung sehr oft eine Gefäßverengerung

hervorruft; vgl. in dieser Hinsicht Versuch IV (Fig. 3) und Versuch X (Fig. 4), wo diese Wirkung sehr deutlich ausgeprägt ist.

Dagegen bewirkt das Chloroform nur in Ausnahmefällen, wie in der zweiten Injektion beim Versuch XX (Fig. 7) eine unverkennbare Gefäßverengerung.

Ferner geht hervor, daß der Unterschied zwischen der wirksamen Gabe, d. h. der Gabe, welche deutliche Veränderungen beim Kreislaufe hervorruft, und der tödlichen Gabe beim Äther sehr groß, beim Chloroform aber ziemlich gering ist.

Um die durch die betreffenden Gifte erzeugten Veränderungen im Gefäßsystem näher aufzuklären, habe ich unter Anwendung des Poiseuilleschen Gesetzes aus meinen Versuchen die dabei entstandenen relativen Veränderungen des Gefäßwiderstandes P/Q berechnet, wo P den stattgefundenen mittleren Blutdruck und Q das gleichzeitige Stromvolumen bezeichnet.

Da das betreffende Gesetz, insofern es dem Kreislauf gilt, nur als eine erste Approximation aufzufassen ist, teile ich diese Berechnung nur unter aller Reserve hier mit.

In folgender Tabelle beziehen sich bei jedem einzelnen Versuch die erste Zeile auf den Zustand unmittelbar vor der Einspritzung des betreffenden Giftes in die Luftleitung, die zweite auf den Zustand, wenn schon eine deutliche Wirkung des Giftes erschienen ist. Die dritte und vierte Zeile stellen das Mittel für eine spätere Stufe des Versuches dar.

Versuch	Periode	Strom-volumen ccm/Min.	Blutdruck mm Hg	Relativer Wider-stand	Anmerkungen
VI	10	53	82	1.55	Per. 11:
Fig. 1	18	50	73	1.55	0.25 ccm Äther
	28	49	79	1.61	
	34	47	84	1.79	Per. 35:
	39	43	80	1.86	0.5 ccm Äther
	80	42.5	80	1.88	
	107	38.5	77	2.00	Per. 108:
	113	24.5	49	2.00	1.0 ccm Äther
	142	39	55	1.41	
	159	39	53	1.36	Per. 160:
	165	22	36	1.62	1.0 ccm Äther
	202	36	42	1.17	

(Fortsetzung).

Versuch	Periode	Strom-volumen ccm/Min.	Blutdruck mm Hg	Relativer Wider-stand	Anmerkungen
XII Fig. 8	8	39	61	1.55	Per. 9: 1.0 ccm Äther
	16	30	38	1.26	
	40	27	27	1.00	
IV Fig. 3	9	36.5	73	2.00	Per. 9: 1.0 ccm Äther
	14	28	78	2.78	
	30	27.5	55	2.00	
	44	26	60	2.31	Per. 45: 1 ccm Äther
	49	17	62	3.64	
	60	22	32	1.45	
	66	21	33	1.57	Per. 67: 1.5 ccm Äther
	71	15	34	2.26	
	82	15	23	1.53	
X Fig. 4	5	43	68	1.58	Per. 6: 1.5 ccm Äther
	11	37	78	2.10	
	40	41	42	1.02	
	80	45	53	1.18	
	99	46	58	1.26	Per. 100: 2.5 ccm Äther
	107	20	56	2.80	
	140	39	40	1.02	
	230	40	53	1.32	
XIV Fig. 5	9	35	86	2.46	Tier stark sklerotisch
	13	5	30	6.00	Per. 10:
	17	27	49	1.81	0.9 ccm Chloroform
	44	25	76	3.04	
XV Fig. 6	7	28	73	2.61	Per. 8: 2.8 ccm Äther
	11	19	60	3.15	
	18	26	38	1.46	
	56	24	54	2.25	
	59	23	56	2.44	Per. 60:
	63	8	37	4.63	0.3 ccm Chloroform
	70	24	32	1.33	
	88	25	48	2.56	
XX Fig. 7	14	54	108	2.00	Per. 15: 0.09 ccm Chloroform
	24	52	95	1.83	
	36	51	91	1.78	
	36	51	91	1.78	Per. 37: 0.17 ccm Chloroform
	41	49	98	2.00	
	50	47	94	2.00	
	70	43	86	2.00	
	89	40	93	2.32	

(Fortsetzung.)

Versuch	Periode	Stromvolumen ccm/Min.	Blutdruck mm Hg	Relativer Widerstand	Anmerkungen
XX	89	40	93	2.32	Per. 90:
Fig. 7	102	41	82	2.00	0.35 ccm Chloroform
	120	40.5	88	2.17	
	127	40	88	2.20	Per. 128:
	133	32	64	2.00	0.35 ccm Chloroform
	144	40	80	2.00	
	151	39	83	2.13	
	152	39	83	2.13	Per. 153:
	160	34	44	1.29	0.36 ccm Chloroform
	184	35	65	1.86	Per. 154—158: Stromvolumen und Blutdruck = 0
	186	35	65	1.86	Per. 187: 5.8 ccm Äther
	196	24	32	1.33	Per. 190—193: Stromvolumen und Blutdruck = 0
	220	29.5	41	1.39	
XXVI	12	53	109	2.06	Per. 13:
Fig. 8	16	28	78	2.78	0.1 ccm Chloroform
	24	49	88	1.79	
	40	51	91	1.78	
	43	51	91	1.78	Per. 44:
	47	13	30	2.31	0.2 ccm Chloroform
	66	52	62	1.19	
	80	45	50	1.11	
	116	47.5	36	0.76	Per. 117:
	130	22	24	1.09	0.5 ccm Chloroform
	150	38	24	0.63	Per. 120—129: Blutdruck u. Stromvolumen = 0
X	243	40	55	1.37	Per. 244:
Fig. 9	249	9	23	2.55	0.25 ccm Chloroform
	253	37	42	1.13	
	292	39	45	1.15	
VI	253	34	46	1.35	Per. 254:
Fig. 10	261	31	34	1.10	0.25 ccm Chloroform
	290	32	34	1.06	Per. 25[illegible]—260: Stromvolumen und Blutdruck = 0

Bei der früheren Besprechung meiner Versuche lenkte ich die Aufmerksamkeit auf die sehr deutliche Gefäßverengerung sogleich nach den Ätherinjektionen im Versuch X (Fig. 4). Aus der Tabelle geht nun hervor, wie gerade hier der Widerstand in den Gefäßen stark zugenommen hat (1·58—**2·10**—1·02; — 1·26—**2·80**—1·02). Bei den

anderen Versuchen mit Äther erscheint ebenfalls eine Vasokonstriktion im Anfange; diese Zunahme stellt sich in der Tabelle noch deutlicher als aus den Diagrammen heraus.

Auch das Chloroform ruft zuweilen Gefäßverengerung und vermehrten Widerstand hervor (Versuch XX, die zweite Injektion: 1·78, **2·00**, **2·00**, **2·00**, **2·32**).

In gewissen Fällen erhält man für den relativen Gefäßwiderstand im Anfange der Chloroformvergiftung sehr hohe Zahlen, bis zu 8. Diese sind indessen nicht als Ausdruck davon aufzufassen, daß der Gefäßwiderstand tatsächlich so enorm erhöht worden ist, sondern lediglich auf die erlahmende Einwirkung des Chloroforms auf das Herz zurückzuführen. Dadurch wird nämlich das Stromvolumen in einem sehr bedeutenden Grade herabgesetzt, während die Gefäße dank ihrem Tonus und ihrer Elastizität den Druck noch auf einem nicht ganz niedrigen Stand erhalten können. Hierdurch wird das Verhältnis zwischen Druck und Stromvolumen abnorm groß.

Aus der Tabelle folgt ferner, daß der Gefäßwiderstand am Ende des Versuches bei der Äthervergiftung in vier Fällen zu-, und in sieben Fällen abgenommen hat.

Bei den Chloroformversuchen sind die entsprechenden Zahlen 2 und 6.

Also dürfte das Chloroform etwas öfter als der Äther den Gefäßwiderstand herabsetzen.

Die großen Äthergaben scheinen am meisten den Gefäßtonus herabzusetzen, wogegen das Herz noch ganz befriedigend arbeitet; vgl. die zwei letzten Äthereinspritzungen im Versuch VI (Fig. 1).

Auch geht mit aller Deutlichkeit hervor, daß das Chloroform für das Herz viel schädlicher als der Äther ist, indem bei mehreren Versuchen, selbst bei langsamer Zufuhr von Chloroform, das Stromvolumen fast auf Null herabgesunken ist. Bei schnellerer Zufuhr von kleinen Mengen Chloroform erhält man gleichzeitig eine sehr starke Abnahme des Stromvolumens, wobei gleichzeitig der Gefäßtonus, wie es scheint, noch gut erhalten ist.

Aus diesen Versuchen kommt man also zu der Schlußfolgerung, daß die starke lähmende Wirkung des Chloroforms auf das Herz bei der bedeutenden Senkung des Blutdruckes, die bei länger dauernden Chloroformversuchen in der Regel erscheint, sehr wesentlich beteiligt ist.

Bei den großen, tödlichen Äther- und Chloroformgaben ist das stillstehende Herz mehrmals massiert worden. Jedesmal ist es mir gelungen, den Kreislauf dadurch wiederherzustellen.

Dies spricht seinerseits für die Anwendung der Herzmassage bei starker Herzschwäche infolge von Äther- oder Chloroformvergiftung.

In der Fortsetzung dieser Arbeit werde ich nach der hier geübten Methode die Einwirkung von kleinen, längere Zeit hindurch fortgesetzten Äther- und Chloroforminhalationen auf den Kreislauf, sowie den Einfluß verschiedener Gefäß- und Herzgifte auch die solcherart veränderte Zirkulation näher untersuchen.

Ein Vorlesungsexperiment.[1]

Direkte Applikation von Giften auf das Rückenmark des Frosches.

Von

C. G. Santesson.

(Aus der pharmakologischen Abteilung des Karolinischen mediko-chirurgischen Instituts zu Stockholm.)

I. Bekanntlich hat J. Tillie[2] gezeigt, daß, wenn man Kurare bzw. Kurarin direkt auf das bloßgelegte Rückenmark des Frosches anbringt, Krämpfe bald ausbrechen. Doch ist es notwendig, daß man zuerst das Herz unterbindet, um die Verbreitung des Giftes zu den motorischen Nervenendigungen zu verhindern. Auch kann man nach komplizierten Gefäßunterbindungen das Gift intravaskulär, in den einen Zweig der Aorta, einspritzen und eine isolierte Rückenmarkswirkung hervorrufen, indem man die übrigen Gefäßgebiete ausgeschlossen hat.

Die beiden beschriebenen Operationen, besonders die letzterwähnte, sind doch zu umständlich um zu Vorlesungsdemonstrationen geeignet zu sein. Ich habe daher schon seit vielen Jahren das Experiment in folgender, sehr einfacher Weise ausgeführt. Ich schneide mit einer Schere dem Frosch — R. temporaria oder R. esculenta — rasch den Kopf ab, trockne die Schnittfläche mit Watte ab und spritze dann durch eine ganz feine Kanüle, die vorsichtig neben dem Rückenmark eingeführt worden ist, einige Tropfen einer 0·5 bis 1·0 prozent.

---

[1] Der Redaktion am 22. Juni 1920 zugegangen.

[2] J. Tillie, *Arch. für exper. Path. u. Pharmak.* 1890. Bd. XXVII. S. 13ff.

Kurarelösung ein. Was von der Lösung herausfließt, wird rasch abgetrocknet. Nach einer kurzen Weile — einigen Sekunden bis ein paar Minuten — treten plötzlich allgemeine Krämpfe auf. Diese können anfangs aus mehr unregelmäßigen Bewegungen — Spreizen der hinteren Extremitäten, Umwälzen, Hin- und Herschleudern usw. — bestehen, die an die Wirkung des Pikrotoxins erinnern. Bald ordnen sich doch die Krämpfe zu regelrechten Tetanis, wie sie bei Strychninvergiftung sofort auftreten.

Mc Guigan[1] hat auf Grund von genauer ausgeführten Versuchen behauptet, daß das Kurare, direkt auf das Rückenmark angebracht, nicht wie Strychnin, sondern wie Pikrotoxin wirkt. Diese Frage läßt sich natürlich mit dem hier beschriebenen groben Verfahren nicht entscheiden. Daß die Krämpfe oft anfangs von denjenigen bei der Strychninvergiftung mehr oder weniger abweichen, kann ja auch durch den verstümmelnden Eingriff oder durch das unregelmäßige Eindringen der Giftlösung in das Rückenmark bedingt sein. Da das Kurarin wie das Strychnin von Strychnosarten herrührt und die elementaren Wirkungen der beiden Gifte auf das zentrale und periphere Nervensystem im ganzen so ähnlich sind — nur mit der Verschiebung der Wirkungsintensität, die für das Kurarin auf die motorischen Nervenendigungen, für das Strychnin auf die zentralen Reflexapparate am größten ist —, liegt wohl die Vermutung sehr nahe, daß die Art der Entstehung der Krämpfe auch dieselbe ist.

II. Das beschriebene Verfahren, die direkte Wirkung von Giften auf das Rückenmark grob zu demonstrieren, läßt sich auch mit Vorteil auf andere Substanzen ausdehnen. Mc Guigan und Ross[2] haben nachgewiesen, daß die Applikation von Morphium hydrochloricum auf das Rückenmark von Säugetieren (Hunden, Katzen) nach einer gewissen Latenzzeit Krämpfe auslöst. Wenn man das Morphin teilweise oxydiert und nachher in den Rückgratskanal eines Säugetieres oder in den Lymphsack eines Frosches einspritzt, tritt der Tetanus rascher auf, als wenn man unoxydiertes Morphium in derselben Weise anbringt. Säugetieren anderswo als in den Rückgratskanal beigebracht, ruft das oxydierte Morphin keinen Tetanus hervor. Die strychninähnliche Wirkung des Morphins wird nach Mc Guigan und Ross

---

[1] H. Mc Guigan, *Journ. of Pharmacology and exper. Therapeut.* 1916. Vol. VIII. Nr. 9. p. 471.

[2] Hugh Mc Guigan und E. L. Ross, *Journ. of Pharmacol. and exper. Therap.* 1915. Vol. VII. p. 385—405.

offenbar durch ein Oxydationsprodukt dieses Alkaloids bedingt, der zuerst im Körper entsteht und dann wieder zerstört wird.

Da das Morphinsalz, Fröschen subkutan eingespritzt, nach einer längeren oder kürzeren Vorperiode Reflexsteigerung und Streckkrämpfe hervorruft, lag mir der Gedanke nahe, nachzusehen, wie dieses Salz, neben dem Rückenmark des enthaupteten Frosches eingeführt, auf diesen Teil des Nervensystems direkt einwirkt.

Einige Tropfen einer 0·2 prozent. Lösung von Morph. hydrochlor. wurden an einer eben enthaupteten R. temporaria in der beschriebenen Weise eingespritzt. Bald stellten sich krampfhafte, unregelmäßige Bewegungen, besonders beim Kneifen, ein und setzten eine Weile fort. Eine R. esculenta wurde in ganz derselben Weise beeinflußt.

Einem anderen Frosch (R. temporaria) wurden einige Tropfen einer 3 prozent. Morphinsalzlösung in den Rückgratskanal injiziert. Nach ganz kurzer Latenzzeit bricht ein intensiver Tetanus wie bei starker Strychninvergiftung aus, und nachher folgt ein „Status tetanicus", d. h. das Tier liegt in dauernder maximaler Streckstellung und bekommt, teils scheinbar spontan, teils bei leisester Berührung, rasche Krampfzuckungen. Allmählich wird die Haltung schlaffer; beim Reiz treten immer noch reflektorische Streckbewegungen auf.

Eine R. esculenta, in derselben Weise behandelt, zeigt ein zum Teil anderes Benehmen: Nach einer etwas längeren Pause (1 bis 2 Minuten) stellten sich unregelmäßige Wurfbewegungen und Volten sowie Manegebewegungen ein; zuweilen sehr rasches und heftiges Zappeln mit den Hinterbeinen. Einmal hüpft das Tier spontan ein langes Stück und wirft sich dabei auf den Rücken mit großen, schleudernden Schenkelbewegungen. Später kommen auch hier die typischen Strecktetani zum Vorschein.

Wenn man statt Morphinsalzlösung einige Tropfen Ringerlösung neben dem Rückenmark eines Frosches (Temporaria wie Esculenta) einspritzt, tritt gar keine Wirkung auf.

Eine 3 prozent. Lösung von Morphium hydrochloricum entspricht etwa $n/_{12 \cdot 5}$ oder einer kaum 0·5 prozent. Kochsalzlösung. Wenn man auch annimmt, daß das Morphinsalz vollständig dissoziiert ist, dürfte seine rein physikalische Wirkung doch schwächer als die der Ringerlösung gewesen sein. Die Krämpfe können wohl nur durch das Morphin bedingt sein.

Des Vergleiches halber wurde auch einem Frosch (R. temporaria) eine 3 prozent. Rohrzuckerlösung in Ringer neben dem Rückenmark injiziert. Das Tier macht sofort einige heftige Bewegungen, kriecht aber dann kopflos, mit gewöhnlichen, koordinierten Bewegungen umher. Keine Spur von Reflexsteigerung oder Krämpfen. Kann nach einer Viertelstunde noch hüpfen. Setzt lange Zeit fort, spontan oder nach Reizung umherzukrabbeln.

Wenn die krampferregende Wirkung des Morphins, wie Mc Guigan und Ross behaupten, durch ein Oxydationsprodukt des Morphins bedingt wäre, scheint es mir eigentümlich, daß dieser Effekt nach Einspritzung einer frisch bereiteten Lösung von Morphium hydrochloricum (3 Prozent) neben dem Rückenmark eines enthaupteten und dabei natürlich zum Teil entbluteten Frosches schon binnen einer Minute entstehen kann. Bei einem solchen Tier geht wohl wahrscheinlich die Oxydation recht langsam vonstatten. Damit sei nicht geleugnet, daß die partielle Oxydation des Morphins den Prozeß beschleunigen kann.

III. Dem oben erwähnten Zuckerfrosch wurde nach etwa $^3/_4$ Stunde ein paar Tropfen einer 2 prozent. Lösung von Chininum hydrochloricum (schwach alkalisch) neben dem Rückenmark eingespritzt. Sofort Sprung und heftige Wurfbewegung (Volte). Dann eine kurze Weile schlaff und still — keine Reflexsteigerung. Das „Promenieren" hat sofort aufgehört. Nach einigen Minuten tritt ein rasch vorübergehender Anfall von allgemeinem Zittern auf, in Streckkrampf und Wurfbewegung übergehend, doch ohne Reflexsteigerung. Die ganze Erscheinung ist binnen 1 Minute zu Ende. Nachher Erschlaffung. Durch Kneifen der Haut lassen sich nachher Abwehrbewegungen der hinteren Extremitäten hervorrufen. Sonst ist das Tier gelähmt.

IV. Atropinum sulfuricum, 1 Proz., ruft bei einem anderen Frosch (R. temporaria) nur allmähliche Lähmung hervor.

V. Coffeinum natrio-benzoicum, 2 Proz., bringt nach einer kurzen Latenzpause bei einer Temporaria ein eigentümliches Umherkrabbeln mit steifen Beinen hervor. Die hinteren Extremitäten werden ausgespreizt wie bei Pikrotoxin- oder Bariumfröschen. Bald hält sich das Tier mehr still mit weniger ausgiebigen Bewegungen bei Reizung; die Reflexe sind aber fortwährend gesteigert. Diese werden allmählich schwächer und schlaffer. Nach etwa $1^1/_2$ Stunden ist die Lähmung vollständig. Das Herz schlägt noch.

VI. Cocainum hydrochloricum, 2 Proz., gibt sofort schlaffe Lähmung. Etwa $1^1/_2$ Stunden später Herzstillstand in Diastole.

VII. Physostigminum salicylicum, 0·5 Proz., einem Temporarien neben das Rückenmark eingespritzt, gibt unmittelbar heftige, allgemeine klonische Kontraktionen. Besonders in der Zunge wurden fibrilläre Zuckungen beobachtet. (Wahrscheinlich war ein Teil der eingespritzten Lösung aus dem Rückgratskanal herausgeflossen und mit der Zunge in direkter Berührung geraten.) Die Zuckungen waren schon binnen 1 Minute vorüber. Die Reflexe nachher vorhanden, nicht gesteigert.

Etwas später lag das Tier still, zog die passiv ausgestreckten Beine wieder an den Körper ein. Die Reflexe wurden allmählich wieder etwas kräftiger, doch nicht eigentlich gesteigert. — Nach 1 Stunde sind die Reflexe noch beibehalten. Das Tier ist immerfort recht gut beweglich. Das Herz schlägt.

VIII. Veratrinum hydrochloricum, 0·1 Proz., ruft sofort heftige, sehr schnelle, flimmernde Zuckungen hervor. Kurz nachher bleibende Lähmung. Das Herz schlägt.

IX. Aconitinum hydrochloricum, 0·05 Proz., gibt fast sofort Lähmung (oder eher Hemmung?). Reflexe bald so gut wie aufgehoben. Die vorderen Extremitäten steif in „Betestellung". Nach einer Weile, bei Ausbohrung des Rückenmarks, kräftige Zuckungen. Das Herz schlägt ungemein rasch — Aconitinwirkung.

Diese kurze Mitteilung beansprucht natürlich nicht, die Natur der beobachteten Effekte näher zu analysieren; dazu ist ja auch die Methode gar zu grob. Wie der Titel angibt, handelt es sich nur um Vorlesungsexperimente, die wohl dazu dienen können, die Richtung der Wirkung gewisser Gifte bei direkter Applikation auf das Rückenmark anzudeuten. Außer Kurare (1 Proz.) scheinen dabei besonders Morphium hydrochloricum (3 Proz.), Chininum hydrochlor. (2 Proz.), Coffeinum natrio-benzoicum (2 Proz.), Physostigminum salicyl. (0·5 Proz.) und Veratrin. hydrochlor. (0·1 Proz.) von Interesse zu sein.

Versuche über die Ausscheidung von Digitalissubstanzen.[1]

Von

C. G. Santesson und **K. Richard Ekström.**

(Aus der pharmakologischen Abteilung des Karolinischen mediko-chirurgischen Instituts zu Stockholm.)

Über die Ausscheidung der wirksamen Stoffe der Herztonica und besonders der Digitalisdroge ist meines Wissens bis jetzt nur wenig bekannt worden. Für das Strophanthin hat Hatcher[2] gezeigt, daß dieser Körper, Ratten subkutan beigebracht, in den Harn und vor allem in die Faeces dieser Tiere übergeht und bis auf 66 Proz. physiologisch (am Froschherzen) nachgewiesen werden kann.

An der Kröte (Bufo vulgaris) hat von Lhota[3] subkutan eingespritztes Digitoxin in wirksamer Form im Harn wiedergefunden — und zwar allmählich etwa 10 Proz. der beigebrachten Menge; der größte Teil wird doch wahrscheinlich im Körper zerstört.

In einer anderen Arbeit hat von Lhota[4] den Austritt des Digitoxins aus den Blutbahnen und seine Fixation im Herzen und in den Gefäßen beim Kaninchen studiert. Über das Auftreten des Giftes im Harn hat er dabei nichts mitgeteilt.

Meistens hat man wohl angenommen, daß die leicht zersetzlichen wirksamen Stoffe der Digitalisdroge, die ja übrigens wegen ihrer Giftigkeit nur in recht kleinen Gaben verabreicht werden können und die

---

[1] Der Redaktion am 22. Juni zugegangen. Der Aufsatz wurde in gekürzter Form an der Tagung der Deutschen Physiologischen Gesellschaft zu Hamburg am 28. Mai 1920 vorgetragen.

[2] R. A. Hatcher, *Amer. Journ. of Physiol.* 1909. Vol. XXIII. p. 303—323.

[3] von Lhota, *Biochem. Zeitschrift.* 1913. Bd. LII. S. 362—368.

[4] Derselbe, *Ebenda.* 1913. Bd. XLVIII. S. 144.

ja zum Teil rasch in gewissen Organen fixiert zu werden scheinen, im Körper vollständig zerstört und also nicht in wirksamer Form ausgeschieden werden.

Um die Sache näher zu prüfen, haben wir vom Herbst 1919 bis April 1920 Versuche über die Ausscheiden von Digitalissubstanzen angestellt, deren Resultate wir hier unten mitteilen möchten. Die Experimente sind von R. Ekström ausgeführt. Ein Digitalispräparat wurde Kaninchen subkutan oder intravenös eingespritzt, und nachher wurden die Digitalisstoffe im Harn chemisch und physiologisch gesucht. Auch in den Faeces wurde den betreffenden Substanzen (chemisch) nachgeforscht.

Für die Versuche wurde das sogenannte Digitotal benutzt. Dieses Präparat wird in der pharmazeutisch-chemischen Fabrik „Astra" (Södertälje, Schweden) nach Methode von dem Apotheker Dr. phil. Adolf Rising dargestellt. Es wird aus Digitalisblättern bereitet und besteht aus einem hell gelbbraunen, amorphen, in Wasser schwer löslichen Pulver. Angeblich soll es sämtliche auf das Herz wirksame Glykoside der Droge — also vor allem das Digitoxin und das sogenannte Kraftsche „Gitalin"[1] — enthalten, aber von Saponinkörpern befreit sein. Mit Hilfe von einigen Tropfen Alkohol wurde eine Lösung 2 Promille in Ringerlösung dargestellt und für die Versuche angewendet.

Beim Aufsuchen der Digitalisbestandteile im Harn sind zwei verschiedene Verfahren, das chemische und das physiologische, benutzt worden.

I. Die chemische Reaktion. Dazu wurde Kellers bekannte Probe[2] benutzt. Aus dem Harn der gespritzten Kaninchen wurden die Digitaliskörper im Scheidetrichter mit Chloroform ausgeschüttelt, das Chloroform abgeschieden und am Wasserbad verdampft. Der Rest wurde in einigen ccm eisenchloridhaltiger, konzentrierter Essigsäure gelöst und im Reagenzglas über konzentrierte Schwefelsäure geschichtet. Die dabei entstehende Reaktion — Auftreten einer roten bis braunroten Zone an der Berührungsfläche der beiden Säuren unter grünblauer oder braungrüner Färbung der Essigsäure (die Schwefelsäure bleibt unverändert) — ist bekanntlich nicht nur für mehrere wirksamen Digitalisglykoside allein charakteristisch. Auch die nach

[1] Kraft, *Arch. d. Pharmazie.* 1912. Bd. CCL. S. 118. Dieses Glykosid oder Glykosidgemenge wurde, unabhängig von Kraft, etwas früher von Rising beschrieben. Vgl. *Svensk Farmaceut. Tidskr.* 1910. Nr. 21.

[2] Keller, *Bericht d. Deutsch. Pharmaz. Gesellschaft.* 1895. H. 11.

Abspaltung von Zuckergruppen entstehenden sogenannten „Genine“ (z. B. das Digitoxigenin Kiliani) sowie das aus dem Digitoxin entstammende Zucker, die Digitoxose (Kiliani), geben diese Probe — und zwar ohne die Herzwirkung zu entfalten. Ekströms Versuche bestätigen diesen Befund (siehe unten!).

Um die Anwendbarkeit dieser chemischen Probe im Harn zu prüfen, wurden 10 ccm normales Kaninchenharn mit 2 mg Digitotal versetzt, mit Chloroform ausgeschüttelt und mit dem Rest des abgedampften Chloroforms in eben beschriebener Weise verfahren. Eine ganz typische Kellersche Reaktion trat sofort auf.

Auch 1·5 mg Digitotal, zu 10 ccm Harn gefügt, gab nach Ausschütteln und Verdampfung des Chloroforms einen Rest, der sofort eine schöne Kellersche Reaktion lieferte. Mit nur 1 mg des Digitalispräparates stellte sich diese Reaktion nur ganz langsam ein und war nach 1 bis 2 Stunden am deutlichsten.

Wurden größere Urinportionen, z. B. 200 bis 300 ccm, mit Digitotal versetzt und wie oben weiter behandelt, wurde die Kellersche Reaktion insofern modifiziert, daß durch Farbstoffe aus dem Harn, die in das Chloroform übergegangen waren, die Essigsäure statt blau oder grünlich stets dunkelviolett oder dunkelrot gefärbt wurde. Diese Verfärbung der Essigsäure trat auf, auch wenn keine Digitalissubstanzen im Urin vorhanden waren. Der am meisten charakteristische rote oder rotbraune Streifen an der Berührungsfläche trat doch immer klar hervor, und zwar durch einen ganz dünnen, hellen, ungefärbten Streifen von der dunkelgefärbten Essigsäure geschieden. Der rote oder rotbraune Streifen schien in dem allerobersten Teil der Schwefelsäure zu liegen. War die Menge der Digitaliskörper groß, so war der charakteristische Streifen rotbraun, bei kleiner Menge dagegen schön rosarot. War die Quantität eine zu geringe oder fehlten die Digitalisstoffe ganz, so war kein roter oder rotbrauner Streifen an der Berührungsfläche zu sehen; nicht selten trat statt dessen ein grüner „Ring“ auf.

Beim Ausschütteln des Harns mit Chloroform entstand oft eine breiige Emulsion, woraus das Chloroform sich nur sehr langsam — erst am folgenden Tag — abschied. Hatten sich auch dann nicht die beiden Schichten klar getrennt, wurde die Emulsionsmasse abpipettiert und mit einer neuen Portion Chloroform geschüttelt, wobei die ungelösten Partikeln sich rascher zu einer dünnen Oberflächenschicht verdichteten.

Um die Emulsionsbildung zu vermeiden, wurde in einigen Fällen der Harn mit einigen Teelöffeln von feinem in destilliertem Wasser gewaschenen Sand gemischt und dann im Wasserbad zu einem dicken Brei

abgedampft. Dieser wurde nachher mit Chloroform innig gemischt, wonach sich dieses rasch und klar abtrennte. Da aber die Verdampfung der großen Harnmengen sehr zeitraubend war, wurde, wie oben erwähnt, meistens der Harn ohne weiteres direkt mit Chloroform ausgeschüttelt. — Beide Methoden gaben dasselbe Resultat.

II. Die physiologische Reaktion. Der Rest nach Verdampfung des Chloroforms wurde mit Hilfe von ein paar Tropfen bis 0·5 ccm Alkohol (96 Proz.) in 1·5 ccm Ringerlösung möglichst gelöst — das nicht Gelöste wurde durch Reibung in der Flüssigkeit aufgeschwemmt und einem Frosch (stets R. temporaria) in den Bauchlymphsack gespritzt um zu sehen, ob die typische Digitalisherzreaktion entstehe.

Zuerst wurde untersucht, ob es überhaupt gelingt, in Kaninchenharn befindliche Digitalissubstanzen nach dieser Methode physiologisch nachzuweisen. Es wurden (Vers. A) zu 300 ccm normalen Kaninchenharns 5 mg Digitotal hinzugefügt, der Harn mit Chloroform ausgeschüttelt und der Rest nach Abdampfung des Chloroforms in Alkoholringer (0·5 + 1·5 ccm) möglichst gelöst. Die Froschherzprobe ergab in 30 Min. einen ganz typischen systolischen Stillstand; die Kammer maximal kontrahiert, weiß und von den stark ausgespannten Vorhöfen scharf abgesetzt.

Da voraussichtlich die Menge der noch wirksamen Glykoside im Harn der gespritzten Tiere eine sehr geringe sein durfte, war es notwendig, große Harnquantitäten auszuschütteln. Es wurden daher meistens zwei, zuweilen drei Kaninchen gleichzeitig behandelt — sie erhielten je 5 bis 6 mg per Kilo täglich subkutan oder je 4 mg per Kilo täglich intravenös während 2 bis 5 oder noch mehrere Tage. Die Tiere waren meistens nach jeder Einspritzung mehr oder weniger angegriffen, lagen auf der Seite mit langsamem Puls und fraßen weniger als vorher.

Da das Futter im Herbst aus frischen Kohlblättern, später meistens aus Kohlrüben bestand, war die tägliche Harnmenge im Anfang jeder Versuchsreihe eine recht reichliche — 400 bis 500 ccm pro Tier. Nachdem sie ein paar Tage gespritzt worden waren, wobei die Tiere weniger Futter zu sich nahmen, sank die Harnmenge rasch zu 50 bis 20 ccm herab. Durchschnittlich hat jedes Kaninchen täglich etwa 200 ccm Harn geliefert — 2 Tiere während 5 Tage also etwa 2 Liter. Der Harn wurde Tag für Tag ausgeschüttelt, die Reste nach Abdampfung des Chloroforms aufbewahrt, zuletzt zusammengeführt, wie oben angegeben, in Alkoholringer gelöst und einem Frosch subkutan eingespritzt.

Als Beispiel des chemischen Nachweises von Digitalisstoffen im Harn eines gespritzten Kaninchens mag folgender Versuch angeführt werden:

Versuch 1 (1919). Kaninchen, subkutan gespritzt.

Tag	Körpergewicht Kilo	Gabe Digitotal per Kilo Körpergewicht	Bemerkungen
29. Sept.	3·27	5 mg	Das Tier nicht beeinflußt.
30. „	3·15	6 „	Keller im Harn negativ. Langsamer Puls; sonst keine Wirkung.
1. Okt.	—	—	Am Morgen noch langsamer Puls. 200 ccm geben starke Kellersche Reaktion (braunroter Ring). Später
1. „	3·20	7 „	Das Tier stark beeinflußt, liegt auf der Seite.
2. „	—	—	In 200 ccm Harn Keller stark positiv. Nach Einengung mit Sand und Ausschütteln mit Chloroform geben sogar 20 ccm Harn einen kräftig positiven Keller.
3. „	—	—	Keller noch positiv.
4. „	—	—	Keller negativ.
			Ganze eingespritzte Digitotalmenge 57·4 mg.

Hier sieht man also, wie nach subkutaner Einspritzung von 35 mg Digitotal während 2 Tage am 3. Tag nach der ersten Injektion aus 200 ccm Harn eine positive Kellersche Reaktion erhalten werden konnte. An demselben Tag wurden noch 22·4 mg Digitotal eingespritzt. Am 6. Tag nach Anfang der Versuchsreihe war die chemische Reaktion wieder stark positiv — sogar in 20 ccm Harn — so auch am folgenden Tage; nachher war sie verschwunden.

Noch ein Versuch dieser Art mag hier angeführt werden.

Versuch 1a (1919). Einem Kaninchen wurde Digitotallösg. subk. injiziert.

Tag	Körpergewicht Kilo	Gabe per Kilo	Bemerkungen
5. Okt.	3·1	6 mg	Tier unruhig, wirft sich um, liegt auf der Seite. Puls langsam, unregelmäßig.
6. „	3·1	—	Der Harn der letzten 24 Stunden zeigt deutliche Kellersche Reaktion.
6. „	—	6 „	
7. „	3·1	6 „	Keller schwach; die untere Schicht schwach braunrot, ins Rosa ziehend. Essigsäure violett.
8. „	2·9	6 „	Keller deutlich: unterer Streifen rosarot, oberhalb desselben eine braungrüne Schicht. Essigsäure violett.
9. „	2·9	6 „	Keller schwach, unsich., wahrscheinl. positiv. (Nur eine kleine Harnport. wurde unters.).
10. „	2·85	6 „	Keller stark positiv.
11. „	—	—	Ebenso.
12. „	—	—	Keller negativ.
13. „	—	—	Ebenso.

Insgesamt 107·7 mg.

In noch einem Versuche wurde ganz dasselbe Resultat erzielt. Die chemische Reaktion tritt also etwa am 2. Tage nach Anfang der Einspritzung auf und ist noch 2 bis 3 Tage nach Aufhören derselben nachzuweisen.

Wir gehen jetzt zu Versuchen über, die zwecks physiologischer Nachweis von wirksamen Digitalisglykosiden im Harn der gespritzten Tiere ausgeführt wurden.

Als Beweis dafür, daß der normale Kaninchenharn mit der benutzten Methode keine Herzwirkung gibt, sei folgender Versuch angeführt:

Versuch 2.

Von 2, mit Digitotal nicht behandelten Tieren wurde der Harn während 4 Tage — insgesamt etwa 4 Liter — gesammelt, in oben beschriebener Weise ausgeschüttelt und die gesammelten Schüttelreste mit 0·5 ccm Alkohol und 1·5 ccm Ringerlösung verrieben. Das ganze Gemisch wurde einem Frosch subkutan eingespritzt. Keine Herzwirkung. Der Frosch fiel in Narkose, erholte sich aber bis zum folgenden Tage vollständig.

Mit diesem Versuch mag folgender verglichen werden:

Versuch 3.

Zwei Kaninchen, A und B, erhielten subkutane Digitotalinjektionen.

Tag	Kaninchen A		Kaninchen B		Bemerkungen
	Gewicht Kilo	Gabe per Kilo	Gewicht Kilo	Gabe per Kilo	
15. Okt.	2·8	6 mg	2·3	6 mg	
16. ,,	2·8	6 ,,	2·45	7 ,,	Stark angegriffen; zu große Gabe.
17. ,,	2·8	6 ,,	2·4	6 ,,	
18. ,,	2·7	6 ,,	2·3	6 ,,	
19. ,,	2·8	6 ,,	2·4	6 ,,	
	Gesamtmenge Digitotal 83·4 mg		Gesamtmenge Digitotal 73·6 mg		
	Zusammen 157·0 mg				

Der gesammelte Rest nach den Ausschüttelungen mit Chloroform wurde mit zwei Tropfen Alkohol gefeuchtet, mit 1·5 ccm Ringerlösung verrieben und das ganze einem Frosch subkutan eingespritzt. Nach 15 Min. läßt sich die Herztätigkeit von außen kaum mehr entdecken;[1]

[1] Ohne das Herz bloßzulegen kann man meistens die Herzschläge von außen sehen, wenn man den Frosch auf den Rücken legt, einen schmalen, zylindrischen Stab durch den Mund in Oesophagus hineinführt und mit diesem das Herz gegen die Brustwand hebt. Wenn viel Flüssigkeit im Bauchlymphsack vorhanden ist, oder wenn die Bauchmuskulatur durch den Einfluß der eingespritzten Lösung starr geworden ist, mißlingt zuweilen die Untersuchung.

nur vereinzelte schwache Andeutungen zu sehen. Beim Durchschneiden der Bauchhaut wird recht viel Flüssigkeit im Bauchlymphsack gefunden. Die Herzkammer stand still in ziemlich starker Systole. Die Vorhöfe, von Blut gefüllt, machten einzelne Kontraktionen; zuweilen antwortete die Kammer mit einer Andeutung zur Kontraktion, die doch niemals vollständig wurde.

Obgleich wahrscheinlich nur ein Teil der extrahierten und dem Frosch eingespritzten Digitalisstoffe resorbiert worden waren, wurde doch das Herz binnen 15 Minuten stark beeinflußt und befand sich der typischen Systole sehr nahe.

In noch 2 Versuchsreihen, einer mit subkutanen und einer mit intravenösen Einspritzungen (je 4 mg per Kilo täglich — an einem Tier sogar 9 Tagen nacheinander, zusammen 85·2 mg Digitotal), fiel der Froschherzversuch negativ aus. Dies hing wahrscheinlich davon ab, daß bei der Auslösung des Chloroformschüttelrestes zu wenig Alkohol zugesetzt wurde. Dies geschah, um eine Alkoholwirkung auf den Frosch zu vermeiden.

Daß dieser Verdacht richtig war, zeigten folgende Versuche, bei welchen der Chloroformschüttelrest mit 0·5 ccm Alkohol (96 Proz.), nachher mit 1·5 ccm Ringer verrieben und zum größeren Teil gelöst wurde. Als Beispiel des Erfolges mag Versuch 4 dienen.

Versuch 4.

Drei Kaninchen, C, D und E, erhalten Digitotallösung subkutan.

Tag	Kaninchen C		Kaninchen D		Kaninchen E	
	Gewicht Kilo	Gabe per Kilo	Gewicht Kilo	Gabe per Kilo	Gewicht Kilo	Gabe per Kilo
22. Nov. 1919	2·1	5 mg	2·4	5 mg	2·8	5 mg
23. „	2·0	5 „	2·4	5 „	2·8	5 „
24. „	2·1	5 „	2·3	5 „	2·6	5 „
25. „	1·95	5 „	2·25	5 „	2·8	5 „
26. „	1·90	5 „	2·3	5 „	2·7	5 „

Während der ganzen Versuchsreihe wurden 176·5 mg Digitotal eingespritzt.

Die Lösung sämtlicher Schüttelreste in Alkohol-Ringer (0·5 + 1·5 ccm), grünlich gefärbt und trübe, wurde einem Frosch subkutan injiziert. Er wurde bald schlaff gelähmt. Nach etwa 25 Min. wurde das Herz bloßgelegt. Die Kammer stand still, mäßig kontrahiert; die Vorhöfe waren mäßig mit Blut ausgespannt — das Aussehen also nicht ganz typisch.

Ein geringerer Teil des Chloroformtrockenrestes, der nicht in Lösung übergegangen war, wurde nochmals in derselben Weise mit Alkohol-Ringer ausgelaugt und einem zweiten Frosch subkutan eingespritzt. Bald

schlaffe Lähmung. Nach 1 Stunde wurde von außen Unregelmäßigkeiten der Herztätigkeit beobachtet. 3 Stunden nach der Injektion stand das Herz still und bot dasselbe Bild wie das Herz des ersten Frosches dar.

Noch eine Versuchsreihe mit subkutanen Injektionen an 2 Kaninchen während 4 Tage — es wurden insgesamt 99·5 mg Digitotal eingespritzt — führte zu einem ganz ähnlichen Erfolg. Nach 15 Min. konnte am Frosch von außen keine Herztätigkeit mehr beobachtet werden. Nach Bloßlegung des Herzens wurde die Kammer stillstehend gefunden, dreieckig, mäßig kontrahiert und anämisch, die Vorhöfe durch Blut weit ausgespannt.

Hierzu schließen wir noch einen Versuch mit intravenöser Injektion des Digitalispräparates an.

Versuch 5.

Zwei Kaninchen, F und G, erhalten das Digitotal in eine Ohrvene eingespritzt.

Tag	Kaninchen F		Kaninchen G	
	Gewicht in Kilo	Gabe per Kilo	Gewicht in Kilo	Gabe per Kilo
30. Jan. 1920	3·0	4 mg	3·1	4 mg
31. „	3·1	4 „	3·1	4 „

Zusammen 49·2 mg Digitotal.

Der Chloroformschüttelrest wie in Versuch 4 in Alkohol-Ringer (0·5 + 1·5 ccm) gelöst und einem Frosch subkutan injiziert. Bald schlaff gelähmt. 35 Min. nach der Einspritzung sind beim Frosch keine Herzschläge mehr von außen zu sehen. 1 Stunde nach der Injektion wurde das Herz bloßgelegt, stand still und bot „das gewöhnliche Aussehen dar“ — d. h. die Kammer mäßig kontrahiert, die Vorhöfe mäßig ausgedehnt und blutgefüllt.

Um zu sehen, ob die in den Versuchen 4 und 5 injizierte Alkoholmenge, 0·5 ccm, das Herz der Frösche beeinflußt hat, wurde einem solchen die gewöhnliche Gabe von Alkohol-Ringer (0·5 + 1·5 ccm) subkutan eingespritzt. Es entwickelte sich bald ein narkotischer Zustand, eine schlaffe Lähmung, die 1 bis 2 Stunden nach der Injektion am meisten ausgeprägt war. Die Herztätigkeit war, von außen beobachtet, während der ganzen Zeit normal. Nach einigen Stunden war das Tier wieder ganz munter. Dieser Kontrollversuch wurde mehrmals mit demselben Effekt wiederholt.

Da also weder die in Chloroform übergehenden normalen Harnbestandteile noch der Alkohol einen Herzstillstand be-

dingten, kann dieser nur als Folge einer Wirkung der vorhandenen Digitalissubstanzen angesehen werden.

Es stellte sich nun weiter die Frage auf: wieviel von dem Digitalispräparat mußte als Minimum den Tieren eingespritzt werden, um eine nachweisbare Ausscheidung von physiologisch wirksamen Digitalisbestandteilen hervorzurufen? Um diese Frage zu beleuchten, wurden folgende Versuche angestellt:

Versuch 6.

Zwei Kaninchen wurden während 3 Tage je 5 mg Digitotal per Kilo täglich subkutan injiziert — insgesamt 90 mg. Der Chloroformtrockenrest wurde in gewöhnlicher Weise einem Frosch eingespritzt. Da nach 25 Min. keine Herzschläge mehr von außen zu sehen waren, wurde das Herz bloßgelegt. Eigentümlich krampfartige Kontraktionen kamen noch vor. Die Kammer, mäßig zusammengezogen und anämisch, antwortete nur an jeder zweiten Vorhofskontraktion. Nachher folgten Perioden von mehr regelmäßiger Herztätigkeit und solche starker Arytmie, bis definitiver Stillstand eintrat (Digitalisreaktion).

Versuch 7.

An 2 Kaninchen wurde je einmal 5 mg Digitotal per Kilo subkutan eingespritzt — insgesamt 30·5 mg. Der folgende Froschherzversuch gab negatives Resultat.

In Vers. 5 oben wurden 2 Kaninchen während zwei Tage je 4 mg Digitotal täglich — also im ganzen 49·2 mg — intravenös injiziert. Beim Frosch trat eine mäßig ausgeprägte Digitalisreaktion ein.

Versuch 8.

An 2 Kaninchen wurde je einmal 4 mg Digitotal per Kilo intravenös eingespritzt — im ganzen 24·8 mg. Kein Herzstillstand; der Frosch überlebt.

Nach subkutaner Einspritzung waren also 90 mg des Präparates für den physiologischen Nachweis der Digitaliskörper im Harn völlig genügend, 30 mg aber zu wenig; nach intravenöser Injektion gaben 50 mg positives, 25 mg dagegen negatives Resultat. —

Hier muß noch ein möglicher Einwand besprochen werden. Es wäre möglich, daß eigentlich die Kaninchen größere Mengen wirksamer Digitalissubstanzen ausschieden, daß aber ein Teil derselben nachher zersetzt wurden. Der gelassene Harn stand nähmlich mehrere, zuweilen 12 Stunden und darüber im Sammelgefäß, ehe derselbe in Arbeit genommen wurde; und nachher dauerte es oft noch 24 Stunden, ehe das Chloroform sich klar absetzte. Und dann folgte noch die Verdampfung des Chloroforms. Besonders vor dem Zusatz dieses Anti-

septikums konnten Bakterien auf die empfindlichen Digitalisstoffe einwirken. Um diese Frage aufzuklären, wurden folgende Kontrollversuche angestellt.

Versuch 9.

Etwa 300 ccm normaler Kaninchenharn wurden mit 5 mg Digitotal versetzt und bis zum folgenden Tag stehen gelassen. Nachher Ausschüttelung und Froschherzversuch in gewöhnlicher Weise. Nach 30 Min. Bloßlegung des Herzens. Typische Systole; die Kammer maximal kontrahiert.

Versuch 10.

300 ccm normaler Kaninchenharn, mit 5 mg Digitotal versetzt, wurden sofort mit Chloroform geschüttelt und die Mischung 24 Stunden im Scheidetrichter aufbewahrt. Der nachher mit dem Verdampfungsrest angestellte Froschherzversuch ergab ganz dasselbe Resultat wie Vers. 9.

Versuch 11.

Zu 300 ccm normalen Kaninchenharns wurden 3 mg Digitotal gefügt, das Gemisch 24 Stunden in Ruhe gelassen, nachher ausgeschüttelt, nochmals 24 Stunden stehen geblieben, dann die Froschherzprobe ausgeführt. Nach 12 Min. Herzstillstand. Die Vorhöfe stark von Blut gefüllt; auch die Kammer recht blutreich.

Versuch 12.

Ganz wie Vers. 11, doch mit Zusatz von nur 1 mg Digitotal. Das Froschherz 1 Stunde 15 Min. nach der Injektion bloßgelegt. Herzstillstand. Bei mechanischer Reizung einzelne Kontraktionen. Die Vorhöfe nicht besonders ausgespannt; die Kammer ziemlich blutreich.

Die Versuche 9 bis 12 zeigen, daß das Stehen des Harns ohne oder mit Chloroform und die sonstige Behandlung des Materiales die Digitalissubstanzen nicht zerstören. Auch recht kleine Mengen (1 mg Digitotal in 300 ccm Harn) lassen sich gut physiologisch nachweisen.

In den meisten Froschherzversuchen über die Elimination des an Kaninchen eingespritzten Digitalispräparates ist zwar Herzstillstand aufgetreten, aber meistens nicht in ganz typischer maximaler Systole. Wie läßt sich diese Tatsache erklären? Haben vielleicht der Alkohol oder die mitgeschleppten normalen Harnbestandteile in dieser Weise die physiologische Reaktion verändert?

Darüber wurden folgende Kontrollversuche angestellt.

Versuch 13.

0·4 mg Digitotal wurden in 0·5 ccm Alkohol (96 Proz.) gelöst, mit 1·5 ccm Ringerlösung gemischt und einem Frosch in den Bauchlymphsack gespritzt. Narkose. Nach etwa 1 Stunde typische, maximale Kammersystole. Zwei in ganz derselben Weise ausgeführten Versuche

gaben dasselbe Resultat. (Ein Versuch mit nur 0·2 mg des Präparates fiel aber negativ aus, offenbar weil die Giftmenge zu klein war.)

Der Alkohol hat also nicht die Froschherzreaktion verändert.

Versuch 14.

Etwa 200 ccm normalen Kaninchenharns werden in gewöhnlicher Weise ausgeschüttelt und das Chloroform verdampft. Zu dem Reste wird 0·4 mg Digitotal, in 0·5 ccm Alkohol gelöst, hinzugefügt, das Gemisch mit 1·5 ccm Ringerlösung verrieben und einem Frosch subkutan injiziert. Das Herz schlug noch nach 3 Stunden. Am folgenden Tag war das Tier tot.

Versuch 15.

Derselbe Versuch wird in ganz ähnlicher Weise wiederholt. Nach 2 Stunden wird das Froschherz bloßgelegt, stand still mit der Kammer ziemlich blutreich, nicht besonders kontrahiert. Bei mechanischer Reizung wurde eine Reihe ziemlich rhythmischer Kontrationen ausgelöst, die etwa 10 Min. dauerte.

Wenn man die beiden letzten Versuche mit dem Vers. 13 vergleicht, geht daraus hervor, daß die in Chloroform übergegangenen normalen Bestandteile des Kaninchenharns in irgendeiner Weise die Froschherzreaktion verändern, der typischen Kammersystole entgegenwirken. Inwieweit eine gewisse Substanz im Schüttelreste diese Wirkung ausgeübt hat, ist nicht untersucht worden.

Am nächsten liegt es, die fragliche Erscheinung in der Weise zu erklären, daß die mitgeschleppten Harnbestandteile die Resorption der Digitalisstoffe verzögert und dadurch die Froschherzreaktion modifiziert haben. Wenn sehr kleine Gaben von solchen Giften allmählich und sukzessiv zur Wirkung gelangen, kommt bekanntlich (Werschinin, Straub)[1] ein halbsystolischer oder sogar ein diastolischer Stillstand zum Vorschein. Diese Auffassung findet in den Versuchen eine gewisse Stütze. Sowohl in dem Vers. A (S. 274) als auch in den Verss. 9 und 10 wurde eine verhältnismäßig große Digitalismenge (5 mg) zu etwa 300 ccm normalen Kaninchenharns gefügt und nachher in gewöhnlicher Weise verfahren. In diesen Fällen ist trotz der Gegenwart von Harnbestandteilen eine ganz typische Herzreaktion entstanden. Wurden nur 3 oder 1 mg des Präparates (Vers. 11 und 12) zugesetzt, war die Kammersystole keine maximale, die Reaktion nicht typisch. Wenn keine Harnbestandteile

[1] N. Werschinin, *Arch. für exp. Path. u. Pharm.* 1909. Bd. LX. S. 328. W. Straub, *Biochem. Zeitschrift.* 1910. Bd. XXVIII. S. 392–407.

vorhanden sind, genügen 0·4 mg Digitotal um eine typische Wirkung hervorzurufen (Vers. 13).

Lassen sich nun aus den mitgeteilten Beobachtungen irgendwelche Schlüsse darüber ziehen, wieviel von dem an Kaninchen eingespritzten Gift sich in noch wirksamer Form im Harn nachgewiesen werden kann? Aus Vers. 15 geht hervor, daß etwa 0·4 mg Digitotal sich einigermaßen sicher spüren läßt. Die Verss. 6 und 7 sowie 5 und 8 zeigen, daß 90 mg subkutan und 50 mg intravenös gespritzt eine sehr deutliche physiologische Reaktion hervorriefen, 30 mg subkutan und 25 mg intravenös dagegen ein negatives Resultat ergaben. Für subkutane Injektionen liegt also die prozentische Grenze ausgeschiedener wirksamer Stoffe zwischen 0·44 bis 1·3, für intravenöse zwischen 0·8 bis 1·6 — also etwa um 1 Proz. — natürlich mit Reservation dafür, daß vielleicht nicht alle wirksame Substanz in das Chloroform übergangen oder zu Resorption gelangt sei. Es läßt sich wohl daraus der Schluß ziehen, daß von der den Kaninchen eingespritzten Menge des Digitalispräparates nur ein verhältnismäßig geringer Teil — etwa 1 Proz. — in wirksamer Form ausgeschieden wird. —

Es ist auffallend, daß Kellers chemische Farbenreaktion viel leichter und rascher im Harn der gespritzten Tiere auftritt, als die wirksamen Substanzen sich physiologisch nachweisen lassen. Eben wurde hervorgehoben, daß nur ein ganz geringer Teil des einverleibten Digitalispräparates unverändert ausgeschieden wird. Aus den Verss. 1 und 1a oben geht dagegen hervor, daß die Kellersche Reaktion bald, sogar im Harn des ersten Injektionstages zu finden ist und nachher Tag für Tag, wenn auch mit wechselnder Stärke auftritt, um am zweiten oder dritten Tag nach der letzten Einspritzung zu verschwinden. Um eine positive physiologische Reaktion zu erhalten, muß man den Harn von zwei gespritzten Kaninchen während wenigstens zwei bis drei Tage sammeln und mit Chloroform ausschütteln. Die chemische Probe kann aus dem Tagesharn eines einzigen Tieres, ja sogar aus 20 ccm (Vers. 1, Tagesnotiz vom 2. Okt.) erhalten werden. Da die untere Empfindlichkeitsgrenze der Kellerschen Reaktion für Digitotal im Kaninchenharn (Ausschütteln wie gewöhnlich) ungefähr bei 1 mg oder etwas unterhalb dieses Wertes liegt (Vorproben, siehe S. 273), muß in unseren Versuchen wenigstens so viel von reaktionsfähiger Substanz in 20 ccm vorhanden gewesen sein — in einem Tagesharn von 200 ccm also etwa 10 mg.

Wie oben schon angedeutet, findet dieser scheinbare Widerspruch ungezwungen seine Erklärung darin, daß die Kellersche Reaktion

auch mit funktionell unwirksamen Zersetzungsprodukten der Digitalisglykoside positiv ausfällt.

So hat Kiliani[1] gezeigt, daß nicht nur Digitalin und Digitoxin, sondern auch das Digitaligenin und die Digitoxose die Kellersche Reaktion geben, so auch das aus dem Digitoxin abgespaltene Digitoxigenin.[2] Weder diese „Genine" noch weniger die Digitoxose geben die Froschherzreaktion der unzersetzten Digitalisglykoside (R. Boehm)[3].

Aus dem Gesagten läßt sich wohl mit größter Wahrscheinlichkeit der Schluß ziehen, daß die wirksamen Digitalisglykoside, Kaninchen subkutan oder intravenös beigebracht, im Körper zum größten Teil in Produkten zerfallen, die nicht mehr das Herz in der charakteristischen Weise beeinflussen, die aber immer noch die Kellersche Farbenreaktion geben, sich daher als Bausteine solcher Glykoside kennzeichnen.

Eine Sache ist hier noch bemerkenswert: Während die sog. „Genine" im allgemeinen keine besondere Wirkung entfalten, soll der Spaltungsprodukt des Digitoxins — Schmiedebergs harzartige Digitoxiresin, das wohl Kilianis Digitoxigenin am nächsten entspricht — ein Krampfgift sein. In vielen von unseren Froschherzversuchen bei welchen sicherlich recht große Mengen von Spaltungsprodukten der Bestandteile des Digitotals den Fröschen eingespritzt worden sind, haben wir merkwürdigerweise niemals Krämpfe beobachtet. Inwieweit die Darstellung des Digitotals oder der Durchgang des Präparates durch den Kaninchenkörper die Verhältnisse in dieser Hinsicht verändert haben, läßt sich hier nicht entscheiden. —

Schließlich wurden auch Versuche angestellt um zu sehen, ob nach subkutanen Injektionen von Digitotal Digitalisbestandteile mit den Fäzes ausgesondert werden. Dabei haben wir uns mit der chemischen Probe, d. h. der Kellerschen Reaktion, begnügt. Wenn sich dadurch keine Digitalisstoffe oder ihre Zersetzungsprodukte nachweisen ließen, wäre es sicherlich aussichtslos gewesen, physiologisch wirksame Glykoside in den Fäzes zu suchen.

Zuerst wurde probiert, wie normale Kaninchenexkremente sich zu der Kellerschen Reaktion verhielten. Eine Quantität solcher Faeces wurde mit heißem Wasser zerrieben und filtriert. Nach Zusatz einiger Teelöffel von gewaschenem Sand wurde die Mischung auf dem Wasserbad zu einem dicken Brei eingeengt. Dieser Brei wurde mit Chloroform

[1] Kiliani, *Arch. der Pharmazie.* 1896. Bd. CCXXXIV. S. 273.

[2] A. a. O. S. 483.

[3] Kiliani, *Ebenda.* 1913. Bd. CCLI. S. 587. Mündl. Mitteil. von Boehm.

innig gemischt, dieses nachher abfiltriert und verdampft. Mit dem Trockenrest wurde die Kellersche Reaktion ausgeführt. Die Essigsäure wurde scharf grasgrün gefärbt; die Schwefelsäure blieb farblos. An der Berührungsfläche war kein besonders gefärbter Streifen oder „Ring" zu sehen.

Eine andere Portion von normalen Kaninchenfaeces wurde nach Zusatz von einer Quantität Digitotal ganz in derselben Weise behandelt. Bei der Ausführung von Kellers Probe trat an der Berührungsfläche unterhalb der grünen Essigsäure der charakteristische rote Streifen der Digitalissubstanzen auf.

Endlich wurden die Fäzes von 2 Kaninchen, denen während 3 Tagen insgesamt 108 mg Digitotal subkutan eingespritzt worden waren, in der oben beschriebenen Weise behandelt. Kellers Reaktion fiel vollkommen negativ aus. Keine Andeutung eines roten oder braunen Streifens trat an der Berührungsfläche zwischen der grünen Essigsäure und der farblosen Schwefelsäure auf.

Nach diesen Beobachtungen zu urteilen, tritt beim Kaninchen nach wiederholten subkutanen Injektionen eines Digitalispräparates keine Aussonderung von Digitalisbestandteilen mit den Fäzes ein, die sich mit der Kellerschen Probe nachweisen lassen. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist unter solchen Umständen ein Abgang wirksamer Glykoside durch den Darm noch weniger zu erwarten.

Die obenstehende Untersuchung geht darauf aus, Kaninchen sog. Digitotal (Präparat aus Fol. Digitalis) subkutan oder intravenös einzuspritzen, im Harn oder in den Fäzes etwa ausgesonderte Digitalisbestandteile mit Chloroform auszuschütteln und schließlich solche im Verdampfungsrest des Chloroforms entweder chemisch (mit Kellers Reaktion) oder physiologisch (am Temporariaherzen) nachzuweisen.

Aus den Versuchen geht als Hauptergebnis hervor, daß von den eingespritzten Mengen des Präparates nur ein geringer Teil, etwa 1 Proz., in physiologisch wirksamer Form mit dem Harn ausgeschieden wird. Daneben wurden verhältnismäßig reichlichere Mengen von Zersetzungsprodukten („Geninen" usw.) gefunden, die Kellers Probe gaben, aber die Herzwirkung nicht zeigten — was darauf hindeutet, daß die Glykoside im Körper zum größten Teil gespalten, der Zuckergruppen beraubt werden.

Schon am ersten Tag nach Anfang der Injektionen fällt die chemische Probe im Harn positiv aus und bleibt so bis 2 oder 3 Tage nach dem Aussetzen der Medikation.

In den Fäzes der gespritzten Kaninchen ließen sich keine Digitalisbestandteile chemisch nachweisen.

XL. Band. 4., 5. u. 6. Heft.

SKANDINAVISCHES ARCHIV FÜR PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG VON

PROF. DR. S. TORUP IN CHRISTIANIA, PROF. DR. E. A. HOMÉN UND PROF. DR. CARL TIGERSTEDT IN HELSINGFORS, PROF. DR. V. HENRIQUES UND PROF. DR. AUG. KROGH IN KOPENHAGEN, PROF. DR. T. THUNBERG IN LUND, PROF. DR. J. E. JOHANSSON UND PROF. DR. C. G. SANTESSON IN STOCKHOLM, PROF. DR. GUSTAF GÖTHLIN, PROF. DR. O. HAMMARSTEN UND PROF. DR. HJ. ÖHRWALL IN UPSALA

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. ROBERT TIGERSTEDT,

EHEMAL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT HELSINGFORS.

VIERZIGSTER BAND.

VIERTES, FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT 30 FIGUREN IM TEXT.



BERLIN UND LEIPZIG 1920
VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER
WALTER DE GRUYTER & CO.
VORMALS G. J. GÖSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG :: J. GUTTENTAG, VERLAGSBUCHHANDLUNG :: GEORG REIMER :: KARL J. TRÜBNER :: VEIT & COMP.

(Ausgegeben im September 1920.)

Inhalt.

Das *„Skandinavische Archiv für Physiologie"* erscheint in zwanglosen Heften, denen je nach Bedürfnis Tafeln beigegeben werden. Sechs Hefte bilden einen Band.

Der Preis des Bandes beträgt 40 *M.* Einzelne Hefte sind nicht käuflich.

Manuskripte für das Skandinavische Archiv und für die Redaktion sind an:

Professor Dr. Robert Tigerstedt in Helsingfors

einzusenden.

Die *Vorlagen* zu Abbildungen im Text oder zu Tafeln sind dem Manuskript auf besonderen Blättern beizufügen. Zu Tafeln ist außerdem die Beigabe einer dem Formate des Archivs angepaßten Anordnung der Figuren notwendig.

Die Herren Mitarbeiter erhalten 30 Sonderabzüge ihrer Abhandlungen gratis.

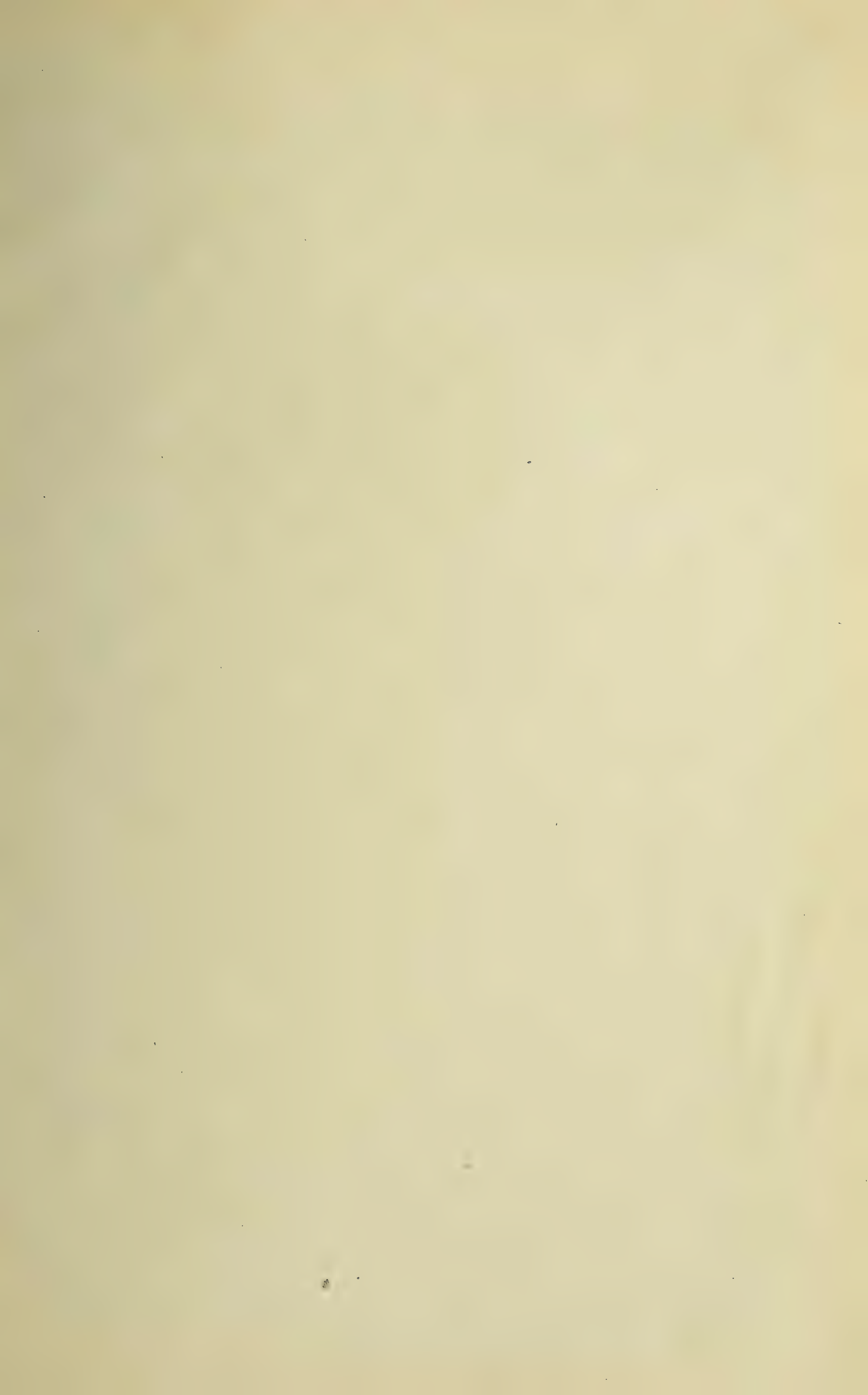
Alle Buchhandlungen des In- und Auslandes nehmen Bestellungen entgegen.



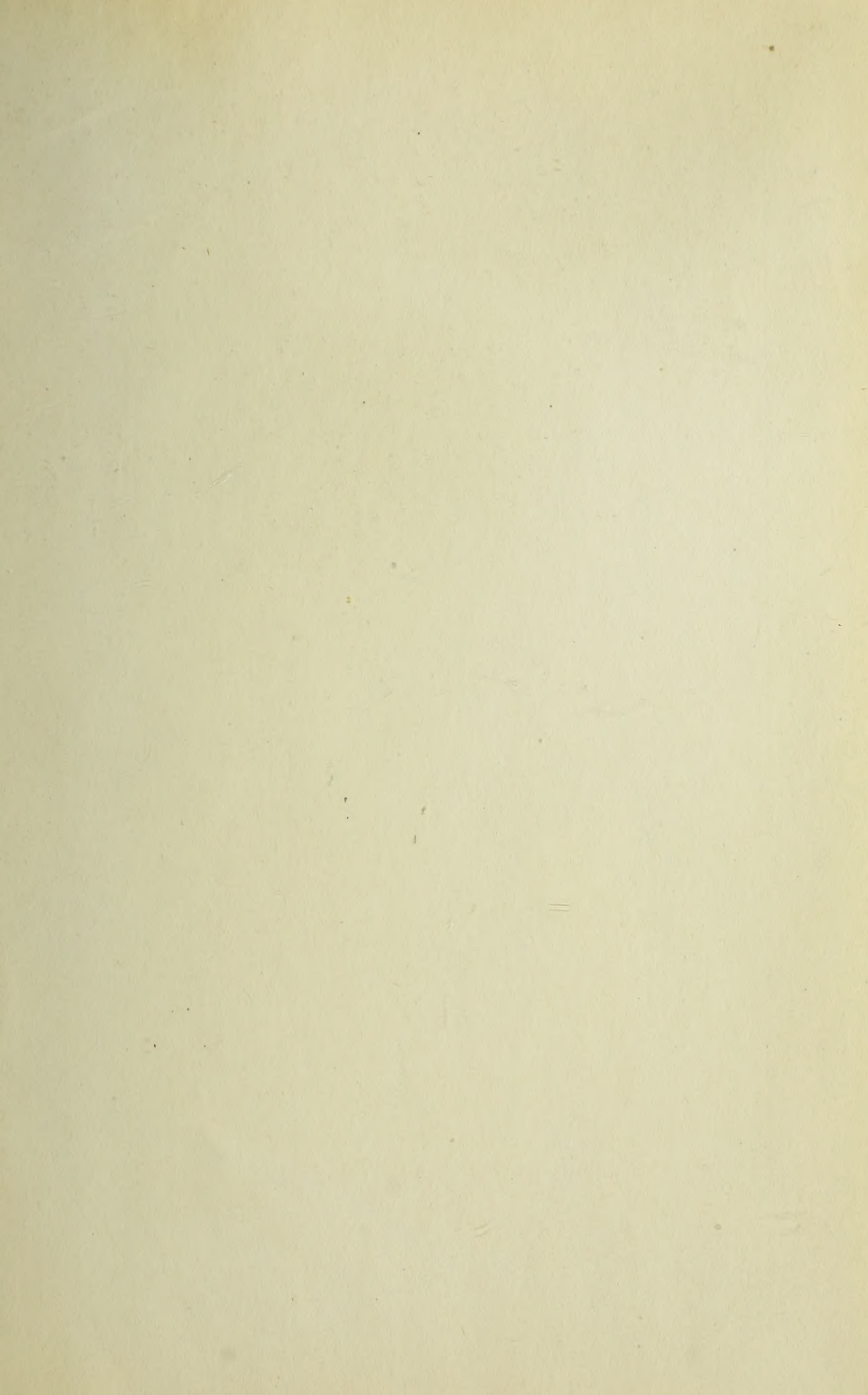
VEREINIGUNG WISSENSCHAFTLICHER VERLEGER

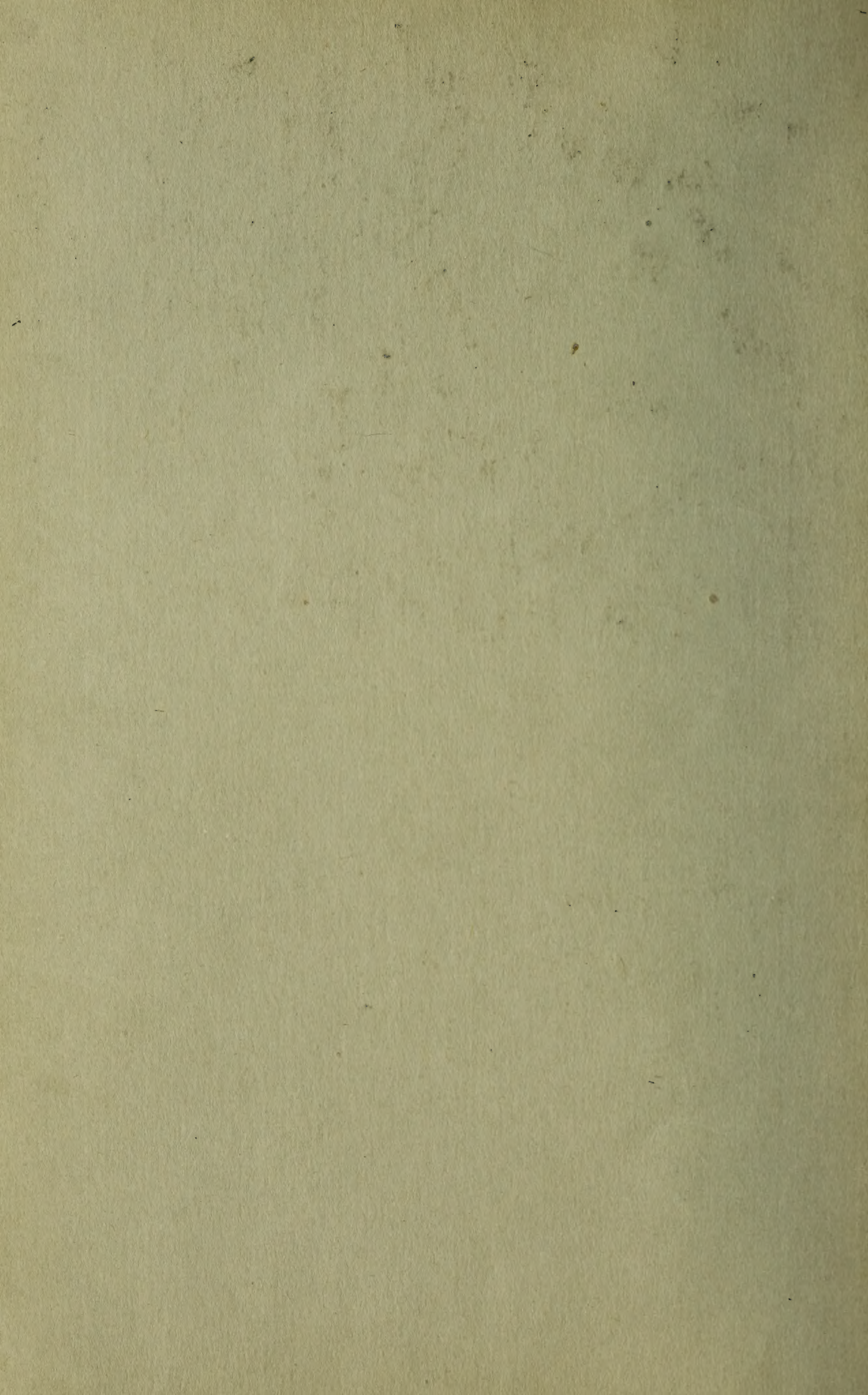
Walter de Gruyter & Co. — vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp. — Berlin W. 10

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig












UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 107698745